

KUČERA
VALOVI I ZRAKE

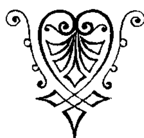
POUČNA KNJIŽNICA „MATICE HRVATSKE".

KNJIGA XXIX.

VALOVI I ZRAKE.

NAPISAO

DR. OTON KUČERA.



U ZAGREBU.
TISAK DIONIČKE TISKARE.
1903.

VALOVI I ZRAKE.



NAPISAO

DR. OTON KUČERA.



SA 230 SLIKA I 2 TABLE.



U ZAGREBU.
IZDALA „MATICA HRVATSKA".
1903.



PREDGOVOR.

U nizu Matičinih poučnih izdanja namijenjenih eksaktnomu dijelu prirodne nauke izlazi evo četvrta knjiga od potpisanoga pisca. Godine 1891. izišle su „Crte o magnetizmu i elektricitetu"; godine 1895. „Naše Nebo. Crtice iz astronomije", a godine 1897. „Vrieme. Crtice iz meteorologije". Njima se priključuju „Valovi i zrake", a svrha im je, da obrazovane čitateljice i čitatelje, koji nisu imali prilike, da slušaju predavanja u višim školama i da rade u laboratoriju, bez naučnoga aparata uvedu u razumijevanje čitave hrpe krasnih prirodnih pojava, koji se najnovijim otkrićima nauke vinuše na prvo mjesto.

Kako o tom ne može da bude nikakve sumnje, da se napredovanje čovjekova roda u novije vrijeme u prvom redu osniva na razvijanju svih grana prirodne nauke, pak se to navlastito očituje u razvijanju čitavoga duševnoga života našega na osnovi prirodoslovnoga mišljenja, treba da široke vrste i naše inteligencije sa stajališta općene svoje obrazovanosti u tom smjeru popune svoje znanje. Ako i treba priznati, da bez humanistične naobrazbe nema općene obrazovanosti, stoji i to, da ona danas nije dostatna i da ona sama ne odlučuje o obrazovanosti čovjeka. S te strane treba u nas i danas još mnogo popraviti, pak se s najvećim počitanjem moram pokloniti širokomu pogledu osnivača Matice, koji su već nazad 50 godina i više to jasno razabrali odredjujući našoj Matici smjer, izražen u prvoj alineji prvoga paragrafa njezinih pravila. Ne varajmo se: svima, svima danas treba temeljitoga znanja prirodnih nauka, i teologu i filozofu i pravniku i trgovcu i obrtniku i radniku, a po gotovo razumnoj ženi i majci.

To navlastito vrijedi za malene narode, kaki je hrvatski. Ne žacam se reći, da bi se mnogi pojavi u javnom i sukromnom životu hrvatskoga naroda posve drukčije razvijali, da su prirodne nauke sa svojim načinom mišljenja u većoj mjeri elemenat općene obrazovanosti hrvatske inteligencije. Poradi toga držao bih u današnjim prilikama nesrećom za narod, kad bi se naša Matica dala na druge putove, to više, što ima dosta znakova za to, da široke vrste naroda traže ovaku hranu.

Istina je živa, da se to znanje ni uz najsavršenije i najlakše napisanu knjigu ne da steći bez duševnoga rada i napora: ovake se knjige moraju uzeti kao cjeline, da se pravo razumiju, pak ih treba i u unutrašnjosti svojoj proraditi. Tko nema te duševne energije, neka takve knjige zaklopi, — to nije duševna hrana za njega!

I „Valovi i zrake“ idu u red tih knjiga. U njima se popularno, ali na naučnoj osnovi, obradjuje područje prirodnih pojava, u kojem je um čovjeka slavio velike triumfe, a slavit će ih, ako znaci ne varaju, u skoroj budućnosti još i većih.

Kod izradjivanja ove knjige upotrebljavao je pisac sva djela majstora u ovakom prikazivanju prirodnih nauka, koja je imao pri ruci, a dobro mu je došao i mnogogodišnji studij periodične svjetske literature ove ruke uz gotovo tridesetgodišnju vlastitu praksu u obučavanju fizike. Na prvom mjestu ističe klasična, svemu svijetu poznata predavanja Tyndallova o zvuku i svjetlosti, koja su uzor svim kasnijim piscima, onda Guilleminov „Le Monde physique. Tome II. et III.“, pa Thompsonova predavanja „Über sichtbares und unsichtbares Licht“ (1898. u njemačkom prijevodu od Lummera), Graetzovo djelce „Das Licht und die Farben“ (1900.), Lorentzova predavanja „Sichtbare und unsichtbare Bewegungen“ (1902.), Richarzova predavanja „Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektricität“ (1899.). Od naučnih djela upotrebljenih kod ove radnje spominje Rieckeovu i Warburgovu eksperimentalnu fiziku. Iz djela najprije spomenutih uzete su gotovo sve slike.

Hvala „Matici Hrvatskoj“, što je knjigu opremila, kako treba!

U Zagrebu 31. prosinca 1903.

Dr. Oton Kučera.

VALOVI I ZRAKE.



PRISTUP.

I.

Stojimo na obali morskoj. Pred nama je pukla pučina njegova i seže daleko, gdje se svod nebeski na nju spušta i s njom sastavlja. Kako daleko oko segnuti i jasno razbirati može, more je glatko kao ulje, površina mu se pružila kao mirna ravnina, glatka kao zrcalo, a u njoj se slika danja žarka kugla, koja se eno spušta polako k onomu kraju, gdje se svod nebeski sastaje s mirnom tekućinom. Velika je masa vode pred nama mrtva i tiha, tek veličina njezina budi u duši osobita čuvstva, kad se u nju nešto duže zagledaš: tišina vraća i u uzburkano srce neki blagi mir, a veličina budi osjećaje nemoći i slabosti u tebi, koji si navikao, da se gledaš kao gospodara čitave prirode.

Ne potraje dugo i pozorište se počelo mijenjati: lice se morsko bez vidljiva uzroka stalo mrštiti, čas prije mirna i glatka površina njegova nije više ravna, na njoj se dižu sitni valići, koji kao da jedan za drugim polako, tiho dolaze k nama, pljuskaju o tvrdu obalu i svojim nježnim tihim šumom, kao da nam šapću pripovijesti o dalekim krajevima, iz kojih dolaze, i mi im nehotice dovikujemo: „oj, talasi mili, ajte“ i utažite čežnju našu vašim kazivanjem o nedohvatnim krajevima! Što se je dogodilo s mrtvom i mirnom masom, te je kao od jednom oživjela, da nam u duši budi posvema nove, drukčije osjećaje? Staro shvatanje prirode nije bilo u neprilici za tumačenje: „vodeni se dusi“ probudiše i govore s nama. Govor im je umiljat i ugodna nas zaokupljaju čuvstva. Dobri su ti dusi vodeni!

*

Al gle, kao da ih je minula dobra volja! Valovi se sve više i jače dižu, udaranje u obalu nije više tako nježno, a govor njihov nije više ugodan i umiljat, već se sve više pretvara u zaglušnu buku, a siromaha čovjeka na obali zaokupljaju opet drukčija čuvstva. Valovi se sada valjaju kao bregovi k obali, strašnim hukom tresnu o nju, voda se zapjeni i u milijunima kapljica skače u veliku visinu, a neugodan pijev „uzdušnih duhova“ kao da se veseli toj strašnoj igri, jer se eno i on to jače čuje, što bijes morski jače navaljuje. Teško onima, koji se u takvim časovima nadju na pučini morskoj u onim malim školjkama, kojima dajemo ime „brodovi“! (Tabla I.) Dusi se morski razgnjeviše, hoće da polome tu tvrdu grudu zemlje, hoće da utamane koljeno ljudsko. I siromašak se čovjek skrušeno moli bijesovima morskim, prinosi im žrtve, ne bi li ih umirio i gnjev utažio!

Prošla su davno vremena, kad se ovako shvatala priroda. Mi ne tražimo više u dubinama morskim duhova, koji svoju srdžbu protiv čovjeka ovako očituju, ali pojava oluje na moru ostaje i za nas veličanstvena i ujedno strašna; ona i danas budi u svakom čovjeku, pa bio i najtuplji za čare svesione prirode, duboka i jaka čuvstva, kao malo koja druga pojava.

Nije li na mjestu pitanje: A kako dolazi do toga, da more sa svojim valovima uz veličanstveno strašnu panoramu, koja nam se pred očima širi, u našoj duši razvija ovako raznolična čuvstva?

No ako je već teško samo opisati ta čuvstva, kako treba; ako već za taj posao treba sasma drukčije pero i znanje, nego što je u pisca ovih redaka, kud i kamo je teže rastumačiti, kako dolazi do postanja tih čuvstava; tu pomažu najviša istraživanja biologije i psihologije, pa ipak danas moramo priznati, da nam je u toj stvari još mnogo toga — nerazjašnjeno i zagonetno. Tek jedno stoji. Nekakva se gibanja na vodi zbivaju i preko dva para malih rupa u lubanji našoj ulaze glasnici o tom gibanju preko vidnih i slušnih živaca u mozak, gdje se svi ti živci sastaju; u mozgu se tek bûde osjeti, a iz njih se onda razvijaju čuvstva. Kako pak dolazimo i do osjetâ? Svakidanje nam iskustvo i o tom nešto priča. Ranimo li se na prstu, prenose živci, koji idu iz prsta u mozak, vijest o toj rani onamo; no ako su ti živci negdje prerezani, ne osjećamo boli, pa kaka bila rana. Nema dakle sumnje, da živci nešto prenose u mozak. Današnja nauka uzima, da je to „nešto“ u svim slučajevima gibanje, ali se ne gibaju živci kao cjelina, nego se gibaju tek najsitnije drobnice njihove (molekuli), i to se gibanje prenosi od

drobnice na drobnicu s kraja živca do mozga. Ova sitna gibanja molekula živčanih izvode u mozgu različne osjete prema kraju mozga, na koji se prenose. Gibanje u živcima jezika budi drukčije osjete, nego gibanje u živcima, koji idu iz oka u mozak, a ovi opet drukčije osjete, nego živci, koji teku iz uha u mozak. Tako postaju u nama različni osjeti; u njima nam je tražiti posljednje izvore svim čuvstvima, a ova drmaju i ravnaju ljudskom dušom, koja je opet ocean svoje vrste.

Preko oka i uha dakle doznasmo u našem primjeru, da se nešto zbiva u svijetu oko nas. Za svakoga je, koji hoće da razložno govori i misli o tom, kako mi osjećamo i kakve zaključke smijemo izvoditi iz tih osjeta, u prvom redu važno znati: što se to zbiva u izvanjem svijetu, da onda djeluje na oko i uho, pa onda to javlja svojim načinom dalje mozgu?

Nadajući se, da nema naobražena čovjeka bilo kojega zanimanja, koga ovaka pitanja ne bi zanimala, pozivamo čitatelje, da nas slijede u ovo krasno područje fizičara. Nadamo se, da toga ne će požaliti već s toga, što se na tom polju susretamo s neobičnom množinom krasnih pojava, koje se ravnaju i zbivaju po osobitim lijepim zakonima, i što nam se otvaraju novi vidici u pravo biće stvarî, a za spoznajom toga idu napokon sve nauke i svi ljudi. Svaki novi vidik u tom smjeru srdačno pozdravljamo.

II.

Jeste li ikada slušali pijev tankoga grla djevojačkoga, kad večerom ozvanja u svoj nježnosti i miloti svojoj? Jeste li kada slušali koncerat na savršenim velikim orguljama, kad izvode nabožne melodije? Krasna li su čuvstva, što ih bude u duši našoj!

Ako si pak imao prilike, da slušaš dobro izvodjenje glazbena umotvora kakova Bethovena, Mozarta, ili pak koje opere velikana, za stalno si osjetio, kako ti glasovi (tonovi) tresu čitavom dušom tvojom, kako te čak na nekoliko sati znadu silno zaokupiti, pa zaboravljaš, da si na zemlji, da imaš tijelo, te se na koncu povratiš na zemlju kao s drugoga svijeta. Isporedite pak s tim čuvstva, što ih u vama bude burne melodije jake vojničke glazbe, kada vodi u boj četu. Tko bi rekao, da oni isti glasovi imaju i tu čudnu moć, da u čovjeku bude lava, što se tiče srčanosti, ali žalibože gdjekada i krvoločna tigra! — A kad počne dobar govornik raspredati svoje misli pristalim glasom, tko nije osjetio, kako ga čas umiljati, čas

gromki glas njegov sve više osvaja, tko ne zna, kako ovaki govornici znaju velike skupine ljudi i čitave narode tako predobiti za svoje misli, da će kao slijepi za njima! Žalibože te ideje nisu svagda plemenite, nisu svagda vodile ljudî i narodâ k napretku i višemu kulturnomu životu!

I opet se pitamo: Što je tu po srijedi, da se u čovjeka radjaju ovaka čuvstva? Odgovor je: na dvije male rupe u lubanji našoj — dva naša uha — ulaze u nas „glasovi“, podražuju živce uha na gibanje, to se prenosi u mozak, tamo se radjaju najprije osjeti (oćuti), a iz njih opet opisana jaka čuvstva! Prema različnomu će svomu stajalištu ova prava čudesa svaki drukčije promatrati: drukčije će ih motriti prijatelj glazbe, drukčije umjetnik, a opet drukčije istraživač prirode. Prijatelj će glazbe tek slušati i uživati skup od tisuća različnih glasova, iz kojih se je umotvor glazbeni složio; kako on do toga užitka dolazi, to se on možda ne će ni zapitati. Umjetnik u glazbi sasvim drukčije sluša umotvor; on već mnogo točnije ispituje pojave, koji amo idu, i poznaje ih kud i kamo bolje. On se zaustavlja kod pojedinih pojava, kako bi ih i sam kasnije mogao složiti; on zna, kako se slaže svaki pojedini učinak iz tolikih, njemu dobro poznatih izvora; on zna, kako mora sve te izvore medju sobom sastavljati, da dobije baš one učinke svoga umotvora, za kojima ide. No glavno je u njega ipak posljedak ili resultat svega toga sastavljanja. On ide za tim, da zna sastaviti svoje učinke, kad hoće i kad mu to treba. Zakoni, koji ravnaju sve te učinke, za njega su sporedna stvar. Po strani pak stoji treći čovjek — ispitivač prirode ili fizičar. Ono, što je umjetniku sporedno, to je njemu najglavnije, to je njemu najveća slast u radu njegovu; zakoni, koji ravnaju sve te različne učinke glazbe, to je njegova najveća radost; traženje i ispitivanje tih zakona — to je područje njegova glavnoga rada. „A što će mu to siromahu, zar nema pametnijega posla?“ — —

Njemu se čitava glazbena slika u duševnom oku njegovu rastavlja u svoja počela, u svoje prvotne dijelove — glasove; o svakom on hoće sve da zna točno, pa kad je sve to saznao, onda mu se pred duševnim okom razvija nova veličanstvena slika: on svagdje u prirodi, pa i u ovom primjeru glazbenom, nalazi, da su počela, iz kojih se priroda sastavlja, izvanredno jednostavna, i da sva gotovo bajna raznoličnost svega onoga, što vidimo u prirodi, izlazi iz zajedničkoga djelovanja velike množine takih pojedinih počela, koja su pak sama za se svagda tako jednostavna, da si ih jednostavnijima ne

možeš ni pomisliti. Fizičar će dakle svagda kušati, da iz punoga vrutka različnih pojava prebere ona počela; njegov je najveći triumf, kad zna i može pokazati, kako se iz njih mora da sastavi krasna slika pojava, kako ga mi gledamo i osjećamo. Pravi je istraživač prirode ili prirodoslovac u našem primjeru bio onaj, koji je prvu žicu napeo i stao istraživati njezine glasove. Pa jesu li to zaista taki siromasi — ti fizičari? Danas, u oči tako sjajnih tekovina baš samo njihova truda i rada, malo će tko to još misliti, i ako im kulturno ljudstvo rada ni iz daleka još niti cijeni, niti pomaže, kako bi zavrijedili u interesu pravoga, kulturnoga razvitka ljudskoga, koji stoji u sveudiljnom što bržem stjecanju pravoga znanja.

Fizičara ćemo morati upitati: Što se to zbiva u grlu djevojačkom, u glazbenom instrumentu, da postaju glasovi, da dodju u naša uha, pa onda u duši našoj izvode one silne učinke?

I na to polje pozivamo čitateljice i čitatelje. Bit će im svaki put užitci ove vrste sladji, bit će im čuvstva čišća i bistrija, kad im budu znali izvanje uzroke.

III.

A sad sam još rad prijazne čitateljice i čitatelje povesti na vrhunac brežuljka, s kojega će za lijepa vedra dana pregledati veliku ravninu, koja se prostrla pod njim kao prekrasan prirodni sag, išaran najljepšim bojama svih vrsta: tek gdjegdje iz nje vire male bijele točkice, stanovi ljudi, a pristaništa sreće i nesreće, blagostanja i bijede. Prijatelj će prirode stati i uživati cjelokupnu sliku, sastavljenu od tisuću pojedinih pojava svjetlosti, iz kojih se je sastavila panorama kraja, što je pred njim. Ni na um mu ne će pasti, da bi se upitao, kako je postala ta harmonija bojâ i svjetlosti. Možda ne će ni na to pomisliti, kako svega toga čara boja i svjetlosti s mjesta nestane, kad zaklopi vjedje svojih očiju, pa kako su nesretni oni, kojima nije sudjeno, da gledaju ove krasne prirodne slike bojâ i svjetlosti. Tek će si možda biti svjestan činjenice, kako se cijela slika po malo mijenja, kad se žarka sunčana kugla na svom dnevnom putu po malo spušta k zapadnomu horizontu, pozivajući tijem sve živo i mrtvo na počinak. A kad se je spustila pod horizont, kao da je čarobnjak neki na jedan put izbrisao sve te čare! Gdje je pero, koje bi umjelo opisati, gdje je kist, koji bi umio predočiti ove postepene promjene sjajnih i punih boja i svjetlosti? Umjetnik slikar pomno gleda prirodu i ovu neopisivu igru svjetlosti i bojâ u njoj, on ju gleda sa

drugoga stajališta, nego prijatelj prirode: on je rad tu bajnu sliku uhvatiti na platnu, ili papiru, kako bi ju trajno mogli uživati prijatelji slikarske umjetnosti. Zato se pak hoće mnogo točnijega proučavanja prirode: umjetnik dobro poznaje prirodu; on zna, kako se rasvjeta svakoga predmeta sastavlja iz toliko različnih izvora, kako svaka promjena u okolini predmeta, kako svaki razmještaj predmeta u prirodi izvodi drukčiju rasvjetu i drukčiju boju. On zna dobro sve te pojedine učinke, no njemu je u prvom redu do toga, da uhvati pravo posljedak svih tih učinaka svjetlosti, pa da stvori umjetninu, koja će opet u svakom čovjeku buditi silna čuvstva, štono ga prenose u svijet ideala, da zaboravi na ovaj svijet. Opet se pitamo: otkud u nama ta čuvstva? Na ona dva mala otvora u lubanji našoj, na dva oka naša, ulazi „svjetlost" u nas i mi u čudu gledamo, što sve može da budi u duši našoj ta svjetlost! Nije li nam na umu pitanje: a što je ta svjetlost, koja ima tako čarobnu moć na duše naše? Evo nas opet u području fizičara.

Tražeći odgovor na to pitanje on ispituje najprije pomno zakone, po kojima se zbiva svaka pojava svjetlosti napose: poznavanje tih zakona za sve pojave svjetlosti, to je njegova prava radost i dušovolja, to je područje njegova rada. Njemu se sva panorama lijepa kraja, lijepe slike raspada u svoja počela, u pojedinosti, iz kojih se ona sastavila. Svaku tančinu njezinu on nastoji da što točnije izuči, i gle opet dolazi do zanimljiva posljetka, da su elementi, iz kojih se sastavlja ona krasna slika kraja, posvema jednostavni, i da sva raznoličnost, sva zamršenost panorame, koju gledamo pred sobom, postaje tek zajedničkim djelovanjem velikoga broja pojedinih učinaka, kojih je svaki sam o sebi tako jednostavan, da gotovo jednostavnijega ne možeš ni pomisliti. I prema toj spoznaji fizičar će nastojati, da u bujnoj skupnoj igri pojavâ svjetlosti i bojâ, koji svojim velikim brojem doduše jako djeluju na dušu čovjeka, ali i zamrse stvar, tu veliku raznoličnost pojava svjetlosti donekle ograniči, da pojave osami (izolira) i da ih ovako osamljene ispituje i njihove zakone prouči. Njegov je pravi triumf, kad može pokazati, kako se iz ovih pojedinih pojava sastavlja i mora da sastavi ona raznolična slika pojavâ, koje mi u prirodi gledamo. Pravi je dakle ispitivač prirode u našem primjeru bio onaj čovjek, koji je prvi kroz usku pukotinu u prozoru umio navrnuti u tamnu sobu — zraku sunčane svjetlosti, pak ju upitao, neka sama kazuje, što je i po kojim zakonima

djeluje. Ona će nam dati kud i kamo pouzdaniji i točniji odgovor na naša pitanja, kako se pojedina tjelesa ponašaju spram svjetlosti, nego li promatranje tih zraka u prirodi samoj, gdje nam sudaranje različnih pojava jako zastire vidjenje duševnoga oka našega. Mi danas već ne znamo imena tomu čovjeku, ali to stoji, da je njegova metoda eksperimenta ili pokusa sa zrakom svjetlosti bila prava; ona nam je donijela poznavanje velikoga broja lijepih prirodnih pojava, pak će i nas voditi na putu k njihovoj spoznaji, a teško da ćemo požaliti, što smo im pošli tragom, jer ćemo i na tom putu doći bliže realnoj i pravoj istini o prirodnim stvarima.

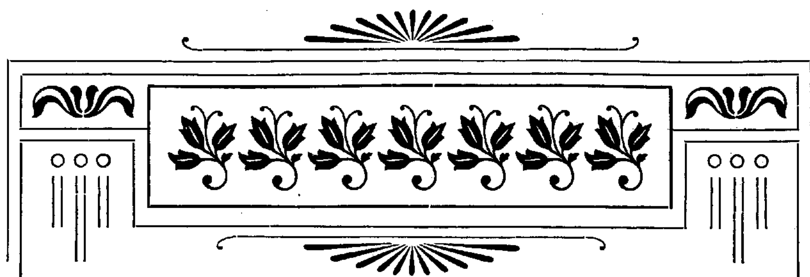
* * *

Valovi na vodi, glasovi oko nas i zrake svjetlosti, što ulaze u oko, za čudo imaju jedno zajedničko svojstvo: *izvanji su povod ili uzrok* tomu, da se u duši čovjeka bude raznolična i gdjekada veoma jaka čuvstva. Izvan nas se nešto zbiva, to ulazi na neke rupe u lubanji u nas i u nama se nekako pretvara u osjete i katkada u jaka čuvstva. U prvom primjeru ravno vidimo, što se na vodi zbiva i što je taj izvanji povod djelovanju na našu dušu. Naučni vodu gledati kao mirnu, mrtvu i tromu tvar, neobično nam je, da se bez našega sudjelovanja, nekako sama od sebe onako uzbiba, i nema sumnje, da je baš ono osobito gibanje vode, koje svi poznajemo kao „*valovito gibanje*“, pravi izvanji uzrok tomu, što se u duši našoj javljaju ona različna čuvstva; ono osobito pravilno i ponovno valjanje valova po površini vode, njihovo odbijanje na tvrdoj obali, skakutanje manjih valića po hrptu velikih, ukrštavanje različnih valova i još drugi pojavi u zajednici svojoj zaista djeluju neodoljivom snagom na dušu čovjeka to više, što mora priznati, da u svem tom njegova volja nema riječi!

Kod glasova i svjetlosti ne prepoznajemo tako lako, što je izvanji uzrok njihovu djelovanju na dušu našu, koje je ipak tako slično djelovanju valova vodenih. Tek stoljetno ispitivanje svih pojava o glasovima i o svjetlosti moglo nas je dovesti do toga, što su zapravo ti glasovi, što je svjetlost, ili da bolje rečemo, što je izvanji uzrok tomu, da se u nama bûdi osjet glasa, ili osjet svjetlosti. Posljedak je nada sve zanimljiv: *slično djelovanje na dušu ima i slične izvanje uzroke. I u zveku i u svjetlosti otkrilo se je „valovito gibanje“ kao izvanji uzrok osjetima i čuvstvima; u mnogočem veoma je nalik na valovito*

gibanje vode, samo što se u svakom slučaju nešto drugo giba valovito, a ne voda. Ova prezanimljiva spoznaja, da tako različne hrpe pojava, kao što su carstvo zveka i glasova pa carstvo svjetlosti i boja, za izvanji svoj uzrok imaju isto osobito gibanje, kojemu dajemo ime „valovito gibanje“, jedan je od najvećih triumfa nauke u posljednjim stoljećima, na svaki način toliko vrijedan, da mu svaki naobraženi čovjek podje tragom, uživajući pri tom i sâm u sve dubljoj i pravoj spoznaji prirode oko sebe, u kojoj i od koje živi od zipke do groba. No ako je već u tom dobra mjera užitka, što svojim vlastitim duševnim radom možemo pratiti ovakve triumfe ljudskoga uma, možda je za nas još veći užitak u tom, što vidimo, kako na tom putu ljudima padaju u krilo kao zrele jabuke razni prevrijedni obreti, koji su cijelo društvo ljudsko, cijeli medjusobni saobraćaj njegov od temelja promijenili u tom smjeru, da ga pomažu kulturno voditi u sve više i čišće sfere, da od čovjeka načine pravoga čovjeka, s kojega sve više pada barbarska košulja, u koju je žalibože i na početku dvadesetoga stoljeća još dosta duboko zagrnut. I na te ćemo jabuke što više svraćati pažnju naših čitateljica i čitatelja, ako nam blagohotno poklone svoje povjerenje, prateći ova naša razlaganja o „valovima i zrakama“. Naše će živo nastojanje biti, da im putove na tom ponajvažnijem području fizike izravnamo, što više umijemo!





I.

Valovi na vodi.

Kako postaju valovi. — Kako se šire valovi na vodi. — Odbijanje (refleksija) valova. — Lomljenje valova. — Val na valu ili interferencija valova.

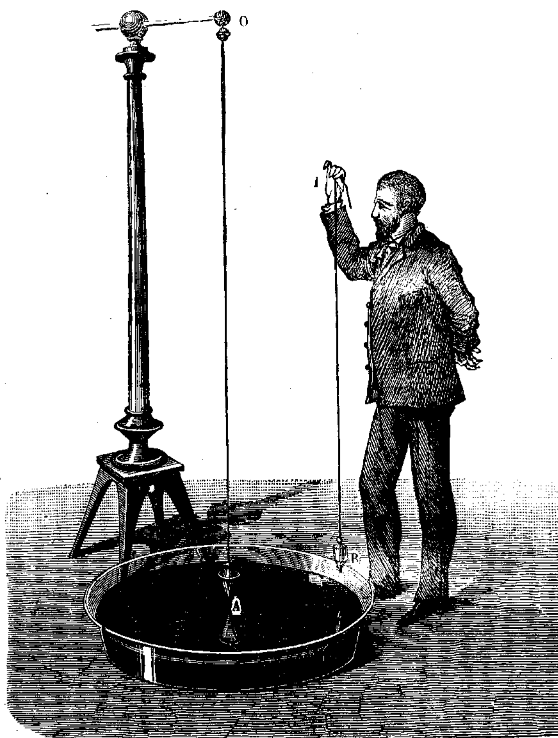
1.

Tko nas ne poznaje njihala na uri i onoga njegova jednolična gibanja tamo i amo, koje ravna naše ure tako, da pravo „idu“, t. j. da nam pravo pokazuju vrijeme? U kraljici nauka, u astronomiji, taj je jednostavni aparat bio i jest još danas čarobni štap, koji je pomogao odgonenuti ponajviše svemirskih tajni. No to nas ovdje ne zanima. Na poznatom ovom aparatu hoćemo tek da prikažemo neku osobitu vrstu gibanja, koja je za naša razmatranja o valovima i zrakama prijeko važna.

Njihalo je u najjednostavnijem svom obliku teško (na pr. olovno) tijelo, koje visi na veoma tanku koncu (sl. 1.). Svatko zna, da za mirovanja osovno (vertikalno) visi; no kako kuglicu makneš nešto iz toga položaja i ispustiš, ona ne ostaje u tom položaju: jest nešto, što ju tjera natrag u predjašnji položaj; ali ni tu sada ne ostaje, nego ide sama na drugu stranu isto tako daleko, pak onda kreće natrag; tomu velimo kuglica „se njiše“. Osobito je na tom opće poznatom gibanju, da ima kod njega neki srednji „položaj mirovanja“ za kuglicu, i u tom je položaju ona, kad je nitko ne dira i ništa ne tjera iz njega. Kad se pak kuglica giba, ide tamo i amo kroz taj položaj mirovanja, a čim je iz toga položaja izišla, javlja se

neka sila, koja ju natrag tjera u položaj mirovanja. Kod kuglice u njihala ta je sila poznata sila „teža“, koja sva tjelesa oko zemlje privlači k središtu njezinu.

Svagda, kad je koje prirodno tijelo (ili koji dio njegov, ili pak cio sustav tjelesa) u takim prilikama, da je u nekom odredjenom položaju u ravnoteži, a čim iz toga položaja izadje, da dodje pod vlast neke sile, koja ga goni natrag u onaj položaj mirovanja, bit ćemo



Sl. 1. Jednostavna njihala.

vidoci ovakova gibanja tamo i amo oko srednjega položaja mirovanja. Kuglica je našega njihala tek jedan poznati primjer takova gibanja, a po njem je to osobito gibanje i dobilo ime „njihanje“. Spomenuo bih već ovdje još jedan drugi primjer, gdje čestice tijela izvode slično gibanje.

Napnimo odugačku žicu ili strunu (ne jako!), pa ju u sredini povucimo prstom nešto na stranu. Svinut će se. No čim ju

ispustimo, sve će njezine čestice krenuti natrag k položaju mirovanja, prijeći će preko njega na suprotnu stranu i tako će se svaka čestica njezina njihati, kao prije ona kuglica, tamo i amo oko srednjega položaja svoga. Obično se veli, da žica „titra“, pa je s toga ono isto gibanje dobilo takodjer ime „titranje“, te se često govori, da čestice ove žice „titraju“. Naučno je ime tomu gibanju prema latinskomu „oscilacija“, pak se govori, da kuglica njihala, da svaka čestica napete žice „oscilira“. Treba istaknuti, da kod napete žice nije teža ona sila, koja čestice svagda goni u položaj mirovanja, nego to u ovom slučaju čini druga sila, koja se zove „elasticiteta“ žice. U ovo područje ide na pr. titranje čestica u daske učvršćene na krajevima, ili titranje čestica u elastičnoga štapa željeznoga, učvršćena na jednom kraju. U opće će pozoran posmatrač češće, nego što se misli, naći u prirodi primjera ovoga osebujnoga gibanja čitavih tjelesa ili pak čestica u tjelesima, a to je gibanje podloga valovima i zrakama, o kojima kani govoriti ova knjiga.

Godine 1582. bio je Galilei (sl. 2.), tada mladić od 18 godina, u stônoj crkvi pisanskoj kod vjerskoga nekoga obreda, no kako se čini, slabo pažljiv, jer je njegovu pažnju zaokupila lampa (krasno djelo Benvenuta Cellinija), koja se je na dugu užetu njihala u crkvi. Kako se je sve slabije njihala, opazio je Galilei, da lampa za jedan njihaj ipak treba svagda isto vrijeme, i ako su putovi lampe pod konac njezina gibanja bili sve manji: trajanje jednoga njihaja ili titraja lampe ostaje jednako. To je mladoga Galileja osupnulo i ovaj slučajni pojav bio je za njegov živi duh ishodište i povod znamenitim njegovim istraživanjima i otkrićima o gibanju njihala. Nije ovdje mjesto, da se upustimo u ova pitanja, tek hoćemo da istaknemo, kako je važno ovo otkriće Galilejevo, poznato uz ime „isohronizam“ njihaja ili titraja; stalno vrijeme, što ga kuglica njihala treba, da svrši jedan potpuni njihaj ili titraj t. j. put tamo i natrag, zove se „trajanje njihaja ili titraja“ ili takodjer „perioda titraja“. Najvećoj daljini pak kuglice od njezina položaja mirovanja dat ćemo ime „zamah“ ili „amplituda“ titraja ili njihaja.

Koliko će vremena trajati jedan njihaj kuglice zadanoga njihala, to će očito zavisjeti o veličini sile, koja ju goni natrag u srednji položaj i o veličini mase, koju ima kuglica. Što je veća masa kuglice uz istu silu, to će se sporije njihati kuglica, to će manji biti

broj njihaja njezinih na pr. u 1 minuti, ili u 1 satu. Ako se pak uveća sila, koja kuglicu tjera u položaj mirovanja, gibat će se ona brže k tomu položaju, njihanje je brže, trajanje je jednoga njihaja ili titraja manje, a broj njihaja na pr. u 1 minuti veći je nego prije.

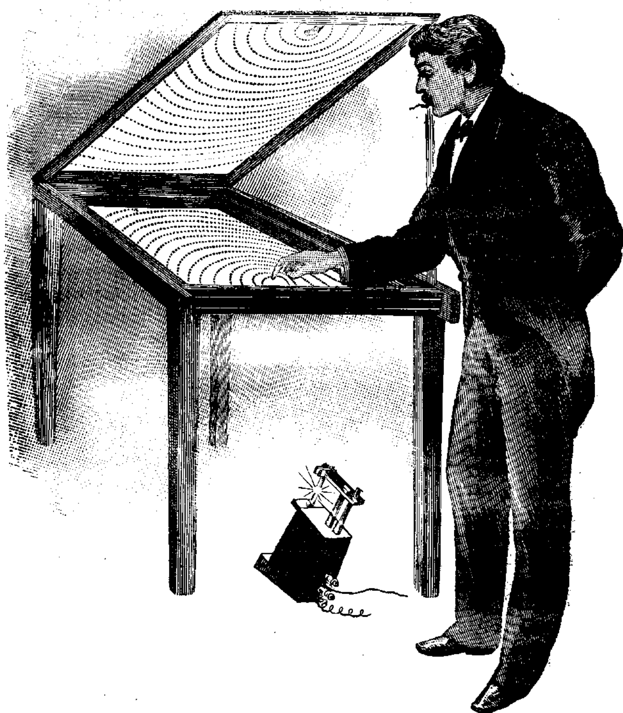


Sl. 2. Galileo Galilei.

Izvodimo iz toga još zaključak, da imamo različnih sredstava, kako bismo mijenjali broj titraja ili njihaja kojega tijela, koji ide na pr. na 1 sekundu. U opće možemo reći, da će taj broj titraja biti to veći, što je jača sila, koja tijelo ili česticu goni natrag, i što su manje dimensije tijela.

2.

Tko je ikada pozorno gledao valove na jezeru, za stalno je opazio, da je i kod njih od velikoga zamašaja čas prije opisano gibanje, koje nazvasmo njihanje ili titranje čestica. Valovi na vodi, a i svako drugo valovito gibanje pokazuje veoma karakteristično svojstvo: ako na bilo kojem mjestu vode, po kojoj idu valovi, bacimo na vodu



Sl. 3. Žlijeb za valove.

komad papira, pluta, ili u opće komadić kakova tijela, koje na vodi pliva, opazit ćemo, da ta tjelesa, dok valovi jedan za drugim preko njega teku, zaista i ne idu sa svoga mjesta, nego da se na svome mjestu dižu nad površinu vode i pod nju spuštaju, izvodeći tako na svom mjestu njihanje ili titranje, baš kao predjašnja kuglica njihala. Iz toga pak izvodimo dalje, da ni čestice vode ne idu naprijed s valovima, da ne struje, kako bi čovjek u prvi mah mislio, kad gleda

valove, gdje se redom jedan za drugim valjaju na vodi. Sve se čestice vode očito samo dižu i spuštaju na svojim mjestima, a mi ipak gledamo val, kako se sve dalje giba po vodi. Kako to?

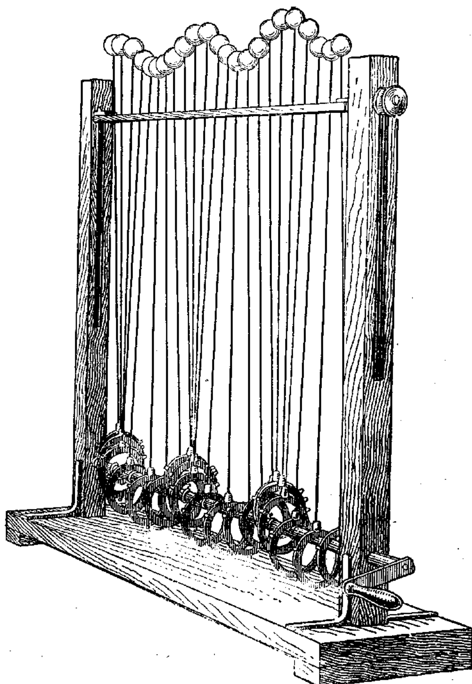
Za razjašnjenje neka služi ovaj aparat (sl. 3.). U plitkom žlijebu je voda, a u njoj mogu po volji izvoditi valove. Zgodno namještena električna lampa baca sjene valova na prozračan, koso namješten zastor. Ako pri kraju žlijeba na jednome mjestu prstom udarimo o vodu, vidimo, kako se valovi od te točke (t. j. od svoga izvora) rasprostiru u koncentričnim krugovima: svaki se krug uvećava sve više, a jedan val ide za drugim u sasma točno odredjenoj daljini. Toj daljini dajemo ime „dužina vala".

Ako se upotrijebi prst za izvodjenje valova, vidimo, da se valovi u vodi rasprostiru u svim smjerovima jednakom brzinom: čelo je vala, ili, kako se takodjer veli, „fronta" je vala u tom slučaju kružnica. No ako mjesto prsta upotrijebim ravnalo, pak njime valove u vodi izvedem, postat će ravni valovi, koji će jedan iza drugoga ići u usporednim (paralelnim) pravcima. Možemo dakle razlikovati i na vodi ravne valove i ugnute valove (okrugle).

Dvije nam dakle karakteristične činjenice udaraju u oči kod valova na vodi: pojedine se čestice vode njišu samo svaka na svome mjestu gore i dolje, ali ne idu s valom sa svoga mjesta, a čelo se svakoga vala giba po površini vode. Prepoznajemo dakle kod vodenih valova dva različna gibanja: prividno gibanje čela ili fronte vala po površini i pravo gibanje čestica vode, koje nije drugo nego njihanje ili titranje.

Da bi se ova razlika što bolje razjasnila, načinili su različne aparate, da prikažu ovu razliku. Evo jedan taki aparat engleskoga podrijetla (sl. 4). Na vrhu cijeloga niza štapova nasadjene su bijele kuglice. Okrećući ručicu izvodim u kuglicama gibanje gore i dolje, dakle titranje ili njihanje. Nijedna se kugla ne giba s jednoga kraja na drugi, svaka izvodi na svome mjestu titraje. Ipak je učinak kod okretanja ručice taj, kao da se val ili bolje cio niz valova giba s jednoga kraja aparata k drugomu. Kod ovoga modela kuglice za pravo ne izvode titranja u pravcu gore i dolje, nego svaka od njih opisuje na svom mjestu krug. Okomito na te krugove idu valovi. Daljina od jednoga brijega vala do drugoga od prilike je 10 cm na ovome modelu. Brzina, kojom valovi idu, zavisi sasvim o tom, kako se brzo okreće ručica aparata. Zamah ili amplituda svakoga titraja nije veći nego 2·5 cm.

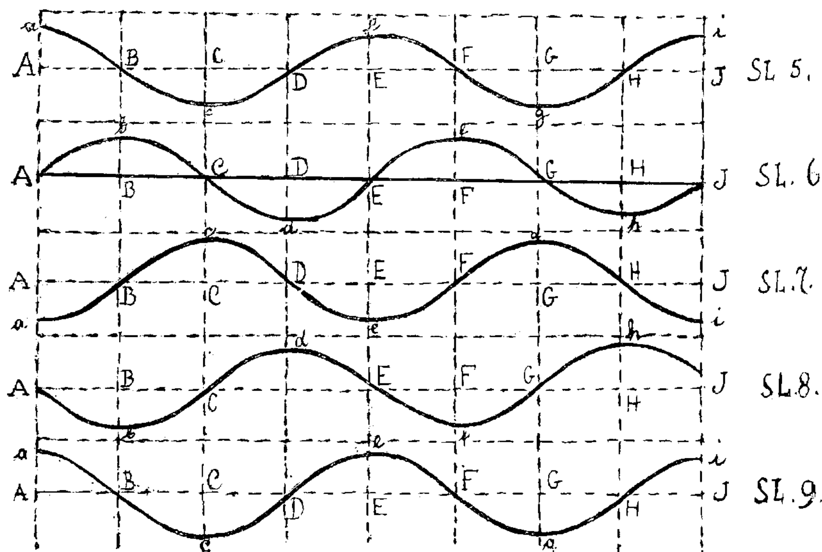
Bit će jamačno svakomu na umu pitanje: A kako dolazi do toga, da ova razmjerno neznatna titranja vodenih čestica izvode na njezinoj površini one tako karakteristične valove u obliku krugova, ili pravaca, koji se tako pravilno jedan za drugim rasprostiru površinom vode? Zašto se glatka površina vode tako namršti? — Tko je dobro uočio spomenuta dva gibanja, lako će taj pojav rastumačiti. Čestice vode u ishodištu vala (na pr. ondje, gdje smo prstom udarili površinu vode u sl. 3.) izvode malo titranje oko svoga srednjega položaja, koji se podudara s površinom mirne vode: najprije podju pod tlakom prsta nešto pod površinu vode, onda se dignu nešto nad nju i tako izvode nekoliko titraja, dok ih zapreke gibanja sasvim neutišaju. No poradi sveze sa susjednim česticama potaknu te prve čestice, koje su zatitrale, i ove svoje susjede okolo na okolo, da i oni započnu slična gibanja, ove opet svoje susjede itd.; na taj se način gibanje prenosi na čestice sve dalje od svoga ishodišta, dok ipak niti jedna čestica ne ide dalje strujom, kako to na pr. biva u potoku. Svaka je čestica ovako uzbibane vode čas na svojoj najvišoj visini, čas se spusti do najveće dubljine pod površinu mirne vode, opet se diže do one visine, i to se neko vrijeme ponavlja. Kako se pak to gibanje prenosi jednako na sve čestice u okolini prvih čestica, nije teško razumjeti, da će čelo vala imati oblik kruga, kojemu je središte ondje, gdje je prst udario o vodu. Prividno rasprostiranje vala po površini vode ima dakle svoj uzrok samo u tom, što čestice vode, koje su dalje od ishodišta vala, sve kasnije počinju titrati. Kad bi sve čestice na površini vode u



Sl. 4. Model valovitoga gibanja.

isti čas počele gore i dolje titrati, mi na vodi ne bismo vidjeli nikakvih valova, nego bi se sva površina jednako dizala i spuštala.

Kad bismo izvadili uru iz žepa, pa motrili vrijeme, što ga pluto na uztalasanoj vodi treba, dok dodje od jednoga brijega vala do drugoga, dobili bismo „trajanje jednoga titraja" njegova, na pr. 2 sekunde, i mogli bismo se lako uvjeriti, da to vrijeme ostaje svagda 2 sekunde, doklegod možemo valove nepomućene motriti. Kad bismo napokon u bilo kojem času nacrtali oblik uztalasane površine, ne u cjelini, nego samo uzduž jednoga pravca, potegnutoga iz ishodišta valova uzduž površine vode, imala bi ona od prilike oblik



Sl. 5—9. Oblik ustalasane vode.

slike 5. Čestice vode kod *a, e* i *i* baš su na vrh brijega vala, t. j. na najvišim svojim mjestima iznad mirne površine *A J,* a čestice su *c* i *g* na najnižim svojim mjestima ispod mirne površine *A I* ili na dnu „dola vala", dok su čestice *B, D, F* i *H* baš u svom položaju mirovanja. Daljinu *A E* od jednoga vrha brijega do drugoga nazvasmo dužinom vala. Časak kasnije imat će površina vode na istom mjestu oblik slike 6. Sada su čestice vode *b* i *f* na brijegu vala, a čestice *d* i *h* u dolu, dok su čestice *A, C, E, G* i *I* baš u položaju mirovanja. Opet časak kasnije imat će površina vode na tom mjestu oblik slike 7. Čestice su *c* i *g* na brijegu, *a, e* i *i* u

dolu, a *B, D, F* i *H* u položaju mirovanja. Čas kasnije imat će površina na tome mjestu oblik slike 8.; tu su *d* i *h* na bregovima, *b* i *f* u dolovima vala, a čestice *A, C, E, G* i *I* u položaju mirovanja. Opet časak kasnije primit će površina vode na tom mjestu oblik slike 9., koja se sasvim podudara sa slikom 5., i od sada se ponavljaju promjene oblika površine predjašnjim redom. Ovih nam 5 slika ujedno predočuje oblik površine vode za vrijeme, dok je jedna čestica vode svršila potpuni svoj titraj, dakle za vrijeme trajanja jednoga titraja. To pokazuje pogled na slike. U prvoj slici (5.) bila je čestica *a* na svom najvišem mjestu iznad položaja mirovanja *A I*, onda je u drugoj (6.) došla dolje do svoga položaja mirovanja *A*, u trećoj je (7.) pošla još dalje dolje do najnižega svoga mjesta, u četvrtoj (8.) došla je opet gore do položaja mirovanja *A*, a u petoj (9.) eno je ponovno na svom najvišem mjestu. A što se je medjutim dogodilo s prvim brijegom vala? U slici je 5. kod *a*, u slici ga 6. vidimo već kod *e*, u slici 7. eno ga još dalje kod *c*, u slici 8. je kod *d*, a u slici 9. eno ga već kod *e*, a ujedno je kod *a* postao nov brijeg vala. Izlazi dakle veoma važna činjenica: Za trajanja jednoga punoga titraja pomaknuo se je prvi brijeg vala od *a* do *e*. No daljinu od *A* do *E* nazvasmo prije dužinom vala, dakle možemo reći: Svaki se val pomakne za trajanja jednoga titraja dalje za jednu dužinu vala.

Sada nam već ne će biti teško odrediti i brzinu, kojom se val pomiče po površini vode. Kao što ćeš brzinu željezničkoga vlaka naći, ako prevaljeni put razdijeliš trajanjem toga puta, tako ćeš naći i brzinu, kojom se val rasprostire na vodi, ako dužinu vala razdijeliš trajanjem jednoga titraja. Toj brzini, kojom se val pomiče po vodi, dajemo ime „brzina rasprostiranja“ (razumije se: valovitoga gibanja). Izlazi zakon:

$$\text{Brzina rasprostiranja} = \frac{\text{dužini vala}}{\text{trajanje jednoga titraja}}.$$

Valovi morski postaju udarcima vjetra o mirnu površinu mora; poradi toga su valovi na otvorenu moru ravni. Bregovi valova dosegnu visinu od 2—3 metra, u oceanima najviše 10 m prema tomu, kolik je tlak vjetra. Brzina je njihova rasprostiranja izmedju 10 do 30 metara u sekundi; poradi toga dolaze valovi često prije do obale nego vjetar, koji ih je izveo. Najveće trajanje jednoga titraja kod morskoga vala je 24 sekunde, a najveća dužina vala je 450

metara. Cousin je g. 1876. u kineskom moru mjerio valove morske, pak je dobio ove rezultate (poprijeko): Dužina vala 15—30 metara; trajanje jednoga titraja 2—3 sekunde, dakle brzina rasprostiranja 7—10 metara, t. j. čelo se vala u svakoj sekundi pomakne dalje za 7—10 metara.

Na jezerima se veoma lijepo mogu izvesti valovi sa frontama, koje su potpune kružnice, ako se na pučini spusti kamen u mirnu vodu. Kad bi čestice vode pod udarcem kamena samo jedan titraj izvršile, tekao bi po površini vode samo jedan okrugli val sa središtem na onome mjestu, gdje je kamen pao u vodu. Zaista toga ne ćemo nikada vidjeti, jer čestice vode pod udarcem kamena izvršuju nekoliko titraja, koji se ipak sve više utišavaju. Poradi toga rasprostirat će se po vodi više okruglih valova jedan za drugim u jednakim daljinama, ali s bregovima sve nižim. Koliko si bregova nabrojio, toliko su puta čestice vode u ishodištu vala zatitrale. — Mogao bi te valove na vodi lijepo isporediti s frontama vojnika namještenih u okruzima jednako razdaleko, koji marširaju u pravcima iz zajedničkoga središta krugova. Smjer, u kojem se odmiče fronta okrugla vala od svoga ishodišta, zove se „zraka vala“, pa je svakomu, tko pozna krug, s mjesta jasno, da je svaka zraka vala svagdje okomita na fronti vala. Kako su svi polumjeri kruga okomiti na kružnici, jasno je, da se sve zrake kružnoga vala sastaju u njegovu središtu, ali se i obrnuto može reći, da sve zrake okrugla vala na vodi izbijaju iz ishodišta njegova na sve strane po površini vode.

Kad pak na oceanu gledaš dugačke ravne valove, kako idu jedan za drugim u točno odredjenu razmaku i jedan usporedno s drugim, i nehotice ti dolaze na um fronte vojnika poredjanih u pravce, koji marširaju jednoliko u smjeru, koji je svagda okomit na fronti. Idu li na pr. četiri taka usporedna reda jedan za drugim u jednakim razmacima, evo ti žive slike četiriju ravnih valova, kojima su zrake okomice na fronti, gdje riječ „zraka“ opet ne znači drugo, nego smjer, u kojem se pomiče fronta vala.

Sve su zrake takova vala dakle pravci, koji su medju sobom uporedni, ali su ujedno svi i okomiti na fronti vala. Ono, što fizika zove „zraka vala“, to bi n. pr. zapovjednik čete zvao „direkcija marširanja“. Gledajući na pr. poredjanu frontu svojih vojnika, znao bi unaprijed, kojim će se smjerom pomicati na komandu „kreni“; ali i obrnuto, ako mu tko odredi, kojim smjerom treba da maršira,

on će odmah znati, da će frontu čete postaviti okomito na taj smjer i onda zapovjediti, da krene.

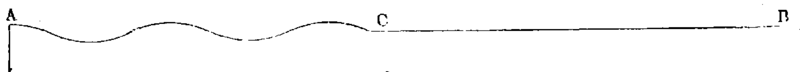
Ova slika posvema pristaje i na valove na vodi. Sve čestice vode, koje su na istom brijegu vala, odgovaraju poredjanoj fronti vojnika, koji marširaju smjerom okomitim na fronti, a baš taj se smjer zove „zraka vala“. Analogija je tolika, da ćemo moći često govoriti u našim razmatranjima, kako „fronta vala maršira“ u smjeru njegovih zraka.

Iz istaknutoga odnošaja izmedju „fronte vala“ i njegovih „zraka“ razabrat će čitatelji lako, da će fizičar u svojim razmatranjima o valovima moći po volji razmatranje svoje pritkati ili na frontu vala, ili pak na njegove zrake, kako mu već bude zgodnije: on naime zna, da je fronta vala svagda okomita na zraci njegovoj.

Još bismo istakli lijep primjer ravnih valova. Nije voda jedina tvar, u kojoj se mogu razviti valovi ugnuti, ili ravni. I na kopnu ih možeš vidjeti često veoma lijepo razvite. Ako stojiš nešto ponad velikoga polja, na kojem žito zori, pa su mu se teški klasovi prignuli k zemlji, evo ti velik broj ojednakih i lako gibljivih čestica. Udari li vjetar s koje strane o prvi red klasova, vidjet ćeš jasno na polju, kako se ravna fronta vala po malo pomiče s jednoga kraja polja na drugi, dok svaki klas na svome mjestu izvršuje tek razmjerno malene njihaje dolje i gore. U zgodnim se prilikama baš lijepo mogu vidjeti bregovi i dolovi valova, kako u usporednim redovima marširaju s jednoga kraja polja na drugi; smjer marširanja ili zraka vala i tu je okomita na fronti.

Dosta se lijepo napokon mogu i umjetnim načinom izvesti ovaki valovi na slabo napetim i nekoliko metara (5—10) dugačkim užetima, pače i na napetim koncima. Take valove može uz nešto vježbe svatko i sam izvesti i na njima potvrditi, što nam pokaza studij valova na vodi. Treba samo uže, ili pak vrvcu kaučuka, pak i dugačku ciev kaučukovu (napunjenu finim pijeskom) jednim krajem pričvrstiti o kaki zid, pa onda u horizontalnom smjeru napeti. Ako je strop dosta visok, možeš jedan kraj užeta i na stropu privezati, pa ga pustiti, da vertikalno visi; težina ga njegova već dosta napne. Uzmimo na pr., da je *AB* takvo horizontalno uže privezano hod *B*, dok kraj *A* držim u ruci napinjući uže (sl. 10). Da potaknem čestice užeta na titranje, pomicat ću pravilno ruku *A* nekoliko puta gore i dolje. Tim ću izvesti na užetu pojav puno sličan bregovima i dolovima valova na vodi. Na slici je uzeto, da sam tek nekoliko valova izveo

od *A* do *C*. Ustavimo li sada gibanje ruke, vidjet ćemo jasno, kako se valovi pomiču prama kraju *B* i naskoro će stići do njega. Tu će se pojav zamrsiti. Valovi se u točki *B* ne će uništiti, nego će se uzduž užeta povraćati natrag s desna na lijevo, pomiješat će se s valovima, koji još dolaze s lijeva i tim će se čistoća pojava pomrsiti. Kako bismo joj izbjegli, mogli bismo pomisliti, da se uže kod *B* nastavlja veoma daleko. Onda bismo na njem vidjeli, kako od kraja *A*, gdje je titranje započelo, jedan za drugim teku pravilni valovi k drugomu kraju *B*. Kad bismo rukom u *A* izveli samo jedan titraj (potpuni), vidjeli bismo samo jedan potpuni val, gdje polako ide prama *B*; dva titraja u *A* daju i dva vala, koji teku jedan za drugim u razmaku od jedne dužine vala prema kraju *B*. Još će se svatko i o tom lako uvjeriti, kako brzina rasprostiranja tih valova zavisi o napetosti užeta: što je veća napetost užeta, to je veća i brzina, kojom se rasprostiru valovi po užetu. Preporučamo ove lake pokuse svakomu, komu je do potpunoga razumijevanja valovitoga gibanja, a mi idemo, da još nešto dalje proučimo pojave kod valova na vodi.



Sl. 10. Valovi na užetu.

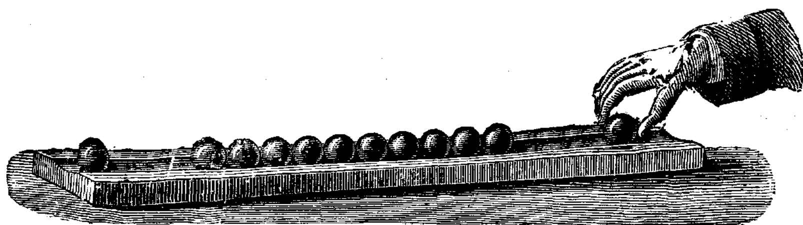
Posvećujemo tomu proučavanju možda nešto više pomnje, nego što je čitatelju milo, ali drukčije ne može da bude. Naskoro morat ćemo naime da razumijemo pojave zvuka i svjetlosti; od vidljivih titranja čestica i vidljivih valova prijeći ćemo na nevidljive, pa poradi toga treba, da sve što možemo, dobro uočimo na vidljivim valovima vodenim.

3.

Ako bacimo oko na jezero, po kojem teku okrugli valovi iz svoga izvora u središtu tih krugova, pak u misli iz ishodišta položimo jednu zraku toga vala na vodi, ne će nam se oblik vode uzduž te zrake prikazati ravan kao u mirne vode, nego onako, kako to pokazuju slike 5. do 9., a tomu je donekle sličan i oblik užeta u slici 10. Sve čestice, koje su na zraci, titraju gore i dolje okomito na zraku *AI* (u slici 5.—9.) ili *AB* (u slici 10.). Takvomu titranju, koje je okomito na zraci, dajemo ime „poprijećno" ili po nauci „transversalno" titranje, a prema tomu dobili su i taki valovi ime „poprijećni" ili „transversalni" valovi. U našim slikama titraju čestice

gore i dolje u ravnini papira. No mogli bismo na pr. na slici 10. ruku *A* i tako pomicati, da ide pred ravninu papira i za nju. I u tom bismo slučaju dobili titranje čestica okomito na zraci *AB*, dakle popriječno, samo bi se sada bregovi i dolovi valova razvijali pred ravninom papira i iza nje. Valovi na vodi svagda su poprečni ili transversalni valovi, a karakterističan je znak takih valova, da se kod njih svagda razvijaju bregovi i dolovi. Kod vode se bregovi dižu osovno nad vodu, a dolovi su spuštaju osovno pod nju. No već kod valova na užetima to ne mora da bude. Prema tomu, na koju stranu ruku pomičemo na kraju *A* horizontalnoga užeta u slici 10., mogu se bregovi i dolovi razvijati i na desno i na lijevo, a i koso gore i dolje. Sve bi to bili poprečni valovi, koji teku po užetu.

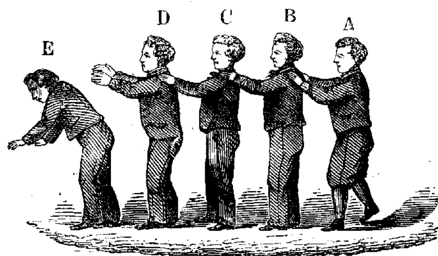
Ali nastaje pitanje, što bi bilo, da čestice tijela ne titraju okomito na zraku, nego baš u njezinu smjeru, ili, kako ćemo se kraće izražavati, „uzdužno“ (longitudinalno). Primijetit će tko



Sl. 11. Uzdužno titranje.

da takoga titranja na vodi i na užetu ne može da bude, a ima i pravo u običnim prilikama: na vodi i užetu razvijaju se samo poprečni valovi sastavljeni od brijega i dola. No ne će biti teško osvjedočiti čitaoca, da može biti i takih titraja čestica, koji ne idu okomito na zraku, nego baš u njoj samoj. Zgodno će biti, ako to razjasnimo na jednom primjeru. U žlijeb (sl. 11.) položimo nekoliko staklenih kuglica, tako da se dotiču jedna druge. Jednu kuglu bacim prama kraju niza, koji nam predočuje ovdje zraku. Gibanje se prve kuglice prenese na drugu, od ove na treću, od nje na četvrtu itd. Svaka kugla ostane na miru, jer prenosi primljeno gibanje na susjednu. Tek posljednja će kuglica u nizu odletjeti. Ovdje možemo reći, da se je od udarca prve kugle svaka kuglica u nizu zanjihala, ali u smjeru zrake same. Još će bolje ovu vrstu njihanja razjasniti ovaj pokus. Pet je dječaka *A, B, C, D, E* (sl. 11a.) u redu jedan iza drugoga. Ruke drži svaki susjedu na ramenima; *E* je prvi u

redu, *A* je posljednji. Iznenada gurnem posljednjega *A;* njegovo se tijelo zanjiše u smjeru niza, ali se odmah ispravi; *A* gurne *B; B* gurne *C; C* gurne *D; D* gurne *E;* svaki se dječak zanjiše nešto u smjeru niza, ali se odmah iza toga opet ispravi. Samo dječak *E,* koji pred sobom nema nikoga, posrnut će naprijed. Da je stajao na rubu ponora, bio bi se survao u nj; da je bio pred prozorom, bio bi ga možda razlupao, a da je pred njim bio namješten bubanj, bio bi svojim udarcem napetu kožu uzdrmao i ona bi bila zatutnjila. Ovako bismo mogli njihaj prvoga dječaka poslati kroz niz od makar stotine njih; svaki bi se dječak u tom redu samo nešto malo tamo i amo zanjihao, ali u smjeru niza, a to bi se njihanje u redu sve dalje rasprostiralo do posljednjega. Sličnost s rasprostiranjem valova na vodi i na užetu udara u oči: u jednom se i drugom slučaju prenosi njihanje ili titranje prve čestice malo po malo na sve čestice cijeloga niza. Ali i razlika se izmedju oba slučaja s mjesta vidi; dok su kod vode i užeta sve čestice titrale okomito na zräku, ovdje su čestice titrale u samoj zraci. Ondje su se poradi titranja čestica na zraci pojavili bregovi i dolovi valova, koji su po njoj tekli s jednoga kraja na drugi; ovdje tih bregova i dolova nema, no umjesto njih će pozorno oko ipak i u nizu dječaka vidjeti neke promjene: dječaci su u nizu čas bliže jedan drugomu, čas dalje jedan od drugoga, pa kad bi broj dječaka bio velik, vidjeli bismo, kako se ova, rekli bismo, zgusnuta i rastanjena vrsta dječaka pomiče s jednoga kraja niza k drugomu, baš kao u prvom slučaju brijeg i dô.



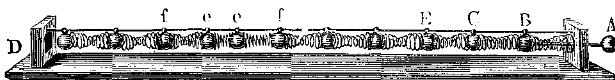
Sl. 11a. Uzdužno titranje.

I uzdužan val sastoji dakle od dva dijela od zgusnute i rastanjene polovine, i ove teku po zraci u odredjenim daljinama, kao ondje bregovi i dolovi.

Primjer dječaka još će nam nešto ispričati. Kad udarim dječaka *A,* on se može udarcu lako podati, pak će onda polako udarac predati i susjedu, a ovaj to može isto tako dalje učiniti: njihanje će se u nizu polako rasprostirati, uzdužni će val imati malu brzinu rasprostiranja. No dječak se *A* može, kad ga udarim, snažnim naporom svojih mišica, udarcu oduprijeti i za čas natrag trgnuti,

pak će u tom slučaju svoje gibanje brzo prenijeti na dječaka *B*; to isto mogu načiniti i ostali dječaci: brzina će rasprostiranja u ovom slučaju poradi veće sile mišica biti mnogo veća.

Cottrell je sastavio zgodan aparat, da pokaže postajanje i rasprostiranje ovakoga uzdužnoga vala; pokazuje ga slika 12. Niz drvenih kuglica sastavljen je perima i nanizan na jednoj žici. Udariš li kuglicu *A*, prenijet će se njezin uzdužni titraj na *B*, *C*, itd. na sve kuglice niza. Kad dodje uzdužno titranje do posljednje kuglice, udarit će ona o ploču *D*, mjesto koje može da bude tamo i zvonce. Gibanje se može na tom aparatu toliko usporiti, da oko može slijediti gibanje sgusnute ili rastanjene polovine vala od jednoga kraja do drugoga. A to je baš dobro, jer naskoro ćemo doći u priliku, da ćemo svojim duševnim okom morati sebi predočiti slične pojave, kojih tjelesno oko nigda ne može da vidi.



Sl. 12. Cottrellov model uzdužnoga vala.

Da skupimo sve u jedno: razlikujemo poprečne i uzdužne valove prema tomu, da li pojedine čestice titraju okomito na zraku vala, ili pak u samoj zraci. Karakteristika je prvih, da se po zraci rasprostiru bregovi i dolovi, a drugih, da se po zraci rasprostiru zgusnute i rastanjene vrste.

4.

Jest istina živa: tko još nije poradi strasti, koje su ga obladale, ili poradi teške borbe za život izgubio smisao za motrenje prirode i njezinih gdjekada veoma zagonetnih, ali i lijepih pojava, rado će stati često na obali jezera ili mora i zamišljeno prisluškivati šaptu valova, rado će i gledati pravilne njihove fronte, kako idu po vodi, pak će možda i uskliknuti: lijepo li je to! U takovu će se čovjèku medjutim naskoro javiti i božanska iskra njegova — um njegov, koji ga na oči ove lijepe pravilnosti baš goni na dublja razmatranja i ispitivanja o tom pojavu. Podajmo se i mi tomu nagonu, kako bismo nešto dublje upoznali valove. Već pravilnost i jednoličnost njihova pomicanja po vodi nesumnjivo nam kazuje, da i kod toga pojava vlada neki red, i on se kao svaki drugi pojav zbiva po nekim stalnim osnovnim zakonima, iz kojih onda izlaze svi pojavi

valovitoga gibanja kao nužne posljedice. Kušajmo te osnovne zakone otkriti. Ne će nam biti žao, jer ćemo tim dobiti u ruke ključ, koji će nam gdjekoja zatvorena vrata u tom pojavu lako otvoriti.

Jedan osnovni zakon otkrilo nam je već dosadanje razmatranje: svaki se val, svako se čelo (fronta) vala pomiče dalje u smjeru okomitu na tu frontu, ili što je isto: zraka je vala svagda okomita na fronti, bila ta fronta ravna, ili kriva.

Nije tako lako neposredno iz gledanja vodenih valova čitati drugi osnovni zakon ili princip, koji ravna valove na vodi. Ipak ga je već prije trista godina umio čitati iz pomnoga gledanja valova nizozemski fizičar Huyghens (čitaj: Hajhens), pak se po njem i danas zove Huyghensov princip. On nam kazuje, kako možemo razjasniti rasprostiranje valova iz središta potresa drugim načinom. Da ga otkrijemo, moramo prijazne čitateljice i čitaoce zamoliti, da uzmu u ruke šestilo (šestar, cirkel). Znamo doduše, kako se mnogi nekako boje toga instrumenta, jer im se čine teške i nerazumljive one slike, što ih geometri često izvode njime. Al što ćemo: ne izazivlju li nas baš oni lijepi okrugli valovi na jezeru, da im bacimo sliku na papir? Pa napokon znamo, da se toliki naši čitaoci bave lijepom umjetnošću crtanja i slikanja, pak im malo šestilo ne će biti nemila sprava; po gotovu ne, da bace na papir ovako jednostavne sličice!

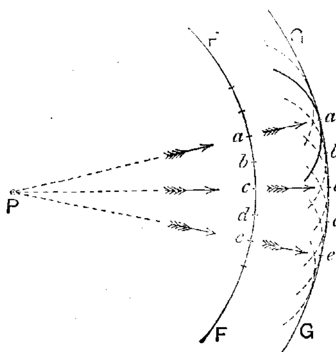
Iz točke P (sl. 13.) pošao je okrugao val i fronta je njegova u nekom vremenu došla do kruga *FabcdeF*. Huyghens uzima, da se svaka točka na toj fronti, na pr. točka *a, b, c, . . .* može uzeti kao ishodište ili središte novoga vala, iz kojega se takodjer rasprostiru valovi u krugovima, dakako istom brzinom, kao val iz *P*. U nekom malom vremenu načinili su se tako oko točaka *a, b, c, d, e . . .* mali okrugli valovi s jednakim polumjerima *a a', b b', c c', d d', e e' . . .*

Mi se na pr. pitamo: gdje će biti fronta vala *FF* nakon $^1/_{10}$ sekunde i kakva je krivulja ta fronta? Uzmimo, da je brzina rasprostiranja valova jednaka 20 cm; u $^1/_{10}$ sekunde prevaljuje val dakle 2 cm. Sada uzmemo u ruku šestilo, otvorimo ga na 2 cm i opišemo najprije iz *a* tim polumjerom kružni luk kod *a'*; do toga bi kruga bilo došlo valovito gibanje u $^1/_{10}$ sekunde, da se je mali komadić vala *FF* kod *a* sâm dalje širio. Ali točke *b, c, d, e . . .* takodjer su izvori takih valića; poradi toga opisujemo i oko svake od njih kružne lukove istim polumjerom od 2 cm i tako radimo za sve

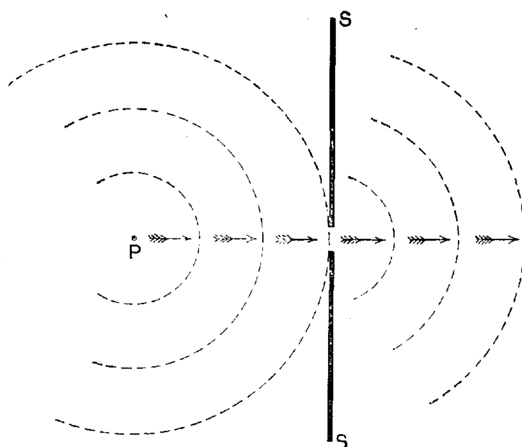
točke na fronti vala FF. Kružni luk *GG*, koji dira sve ove male valiće, jest nova fronta vala nakon $^1/_{10}$ sekunde.

Tako evo vidimo, da se svi oni mali kružni valići ukrštavaju i tim izvode jedan jedini veliki val s frontom *GG*, a izvorom u točki P. Strjelice pokazuju zrake toga vala. Oni dijelovi malih valića, koji ne idu smjerom strjelica, ukrštavaju se medjusobno i tim se unište, a konačni je učinak isti, kao da je n. pr. komadić *b* vala *FF* ravno marširao samo u *b'*, a komadić *c* ravno u *c'* itd.

Reći će mi se: A što će nam sve to Huyghensovo šestarenje, kad mi novu frontu GG našega vala možemo s mjesta dobiti, ako polumjerom *PG* opišemo iz središta *P* luk *GG?* Ta je primjedba



Sl. 13. Huyghensov princip.



Sl. 14. Prolaz vala kroz pukotinu.

posvema na mjestu, kad se radi o širenju kružnoga vala na vodi iz zadanoga ishodišta P. Tu je zaista Huyghensovo mišljenje i konstruiranje posvema zališno. No ako se radi o kružnim valovima s veoma velikim polumjerima, gdje je dakle središte potresa veoma daleko, ili pak o valovima, kojima je fronta bila kakva druga nepravilna krivulja, kod koje središta ne možemo naći, e onda je misao Huyghensova veoma korisna za proučavanje valova, navlastito ako treba naći mjesto i oblik fronte vala za bilo koje kasnije vrijeme. Njezina je vanredno velika vrijednost u tom, što za konstrukciju nove fronte vala ne treba ni znati, gdje mu je izvor. Bacimo na pr. oko na sliku 14. U točki su se P potresle čestice vode (središte potresa). Valovi se rasprostiru u krugo-

vima, a P je središte valova. Namjestimo u put valovima zapreku, na pr. zastor *SS* s rupom u sredini. Svi valovi, koji udaraju o zastor, na njem se ustavljaju, samo se ne zaustavlja mali dio fronte, koja baš udara na rupu: taj dio vala prolazi i u prostor iza zastora, ali se rasprostire od otvora dalje u svim smjerovima jednakom brzinom i tako postaje po Huyghensovu principu oko rupe nov niz kružnih valova s onu stranu zastora, kojima središte nije više u P, nego u otvoru zastora.

Pokus na žlijebu u slici 1. može to odmah potvrditi. U put kružnim valovima namjestimo limenu ploču s rupom u sredini. Na površini vode iza ploče zaista teku kružni valovi sa središtem u rupi. Opazit ćemo ipak, da su bregovi i dolovi tih valova mnogo slabiji.

Imat ćemo dosta prilike, da ovaj drugi osnovni zakon za svako valovito gibanje upotrijebimo. Kad bismo htjeli, da ga skupimo u nekoliko riječi, mogli bismo reći:

Svaka je točka na fronti vodena vala ishodište ili središte novih valića, koji se rasprostiru po vodi istom brzinom, što pripada zadanomu valu; mjesto i oblik nove fronte vala za bilo koje kasnije vrijeme jest ona crta, koja dira ili zamata sve valiće.

Što su napokon sve morske luke, ako ne praktična primjena Huyghensova principa? Svaka je luka napokon zid s jednim otvorom, kao što u našoj predjašnjoj slici. Kroz otvor ulaze brodovi u luku. Fronte izvanjih morskih valova ulaze samo kroz taj otvor u luku. Otvor je središte novim kružnim valovima, koji se šire po vodi u luci, no ti su valovi mnogo slabiji od izvanjih i u tom je glavna korist luke.

Još je jedan zanimljivi pojav na moru, koji se posvema razjašnjuje Huyghensovim principom. Ako se dugačak morski val na svom putu susretne s osamljenom pećinom, koja viri iz mora, uzdiže se dio fronte, koji udari o pećinu na prednjoj strani njezinoj, odbija se od nje, dok ostali dio fronte prolazi s jedne i druge strane kraj pećine dalje. Mi bismo očekivali, da će voda iza pećine ostati mirna i površina njezina ravna i glatka: voda iza pećine u neku je ruku u njezinoj sjeni. Ali iskustvo toga ne potvrdjuje baš ni malo! Baš je obrnuto: val opkoli svu pećinu, ide dakle u neku ruku oko ugla i u zasjenak pećine, pa mi vidimo, kako iza pećine potpuna kružna fronta vala dalje teče baš kao da nije pećine ni bilo! Ovaj

je pojav zapravo u protivurječju s onim, što do sada razabrasmo o rasprostiranju valova po vodi: u prostoru, u koji ne dolazi fronta vala, ne bi smjelo da bude nikakvih valova. No ako se sjetimo Huyghensova principa, smjesta ćemo razumjeti, da su čestice vode na rubu pećine, koje zatitraše, kad je do njih došla fronta vala, ishodište novih valića, koji se šire u krugovima na sve strane, pa i u vodu iza pećine. I ondje se dakle stvara jedna fronta vala, koja ide istom brzinom, kao i val ispred pećine, pak se s njim i složi u potpun kružni val.

Valovi se vodeni dakle u neku ruku skreću oko ugla i ulaze u vodu iza pećine, a tomu, u prvi mah nerazumljivu pojavu, dala je nauka ime „skretanje valova" ili „difrakcija valova".

U povjesti nauke ovaj je pojav jedan put bio od velikoga zamašaja i o tom ćemo kasnije govoriti. Ovdje nam je dosta, što saznasmo, da osamljene pećine u vodi ništa ne smetaju rasprostiranju valova, baš kao da ih i nije u vodi. Tek kad su te pećine jako dugačke spram dužine valova (dugački otoci), onda se opaža njihovo utjecanje na valove iza njih: na vodi iza njih u zasjenku ili nema nikakvih valova, ili su posvema slabi.

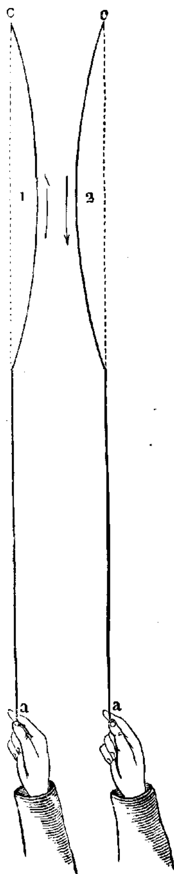
5.

Zapitajmo vodene valove, ne bi li nam još štogod znali o sebi pričati!

Gledaš li okrugle valove na jezeru, ili pak ravne na moru, godit će za stalno oku, a djelovat će i na dušu, kad opaziš, kako se onako lijepo pravilno i odmjereno valjaju po površini vode jedan za drugim. I da je pučina beskrajna, taj bi se veličanstveni pojav u istoj savršenoj pravilnosti ponavljao, doklegod u izvoru valova djeluje ona sila, koja ih budi i izvodi. Ali takih pučina nema. I veliki, dugački i uspravni valovi morski napokon dodju do tvrde obale, gdje prestaje voda, u kojoj se mogu valovi razvijati. Tvrdi kamen nije sposoban za primanje i razvijanje valova: sva fronta vala vodenoga udari svom žestinom svoga gibanja o pećinu i izvodi pri tom glasoviti pojav „razbijanje vala" (Brandung), koji je osobito u nekim morima na veliku glasu. Što li se s valom dogodilo u tom času? Je li se zaista razbio, t. j. je li se uništio? Nipošto!

Ako malo pažnje posvetiš pojavu razbijanja vodenih valova, primjetit ćeš odmah, da se val nije uništio. Načinila se kod udarca na obalu nova fronta vala, koja sada suprotnim

smjerom natrag ide u pučinu morsku, pak se na tom putu susreta s dolazećim valovima i izvodi nove zanimljive pojave, kojih ovaj čas ne uzimamo na um. Nauka bi rekla: val se od obale „odbija“ ili „reflektira“, a pojavu tomu daje ime „odbijanje valova“ ili „refleksija valova“.



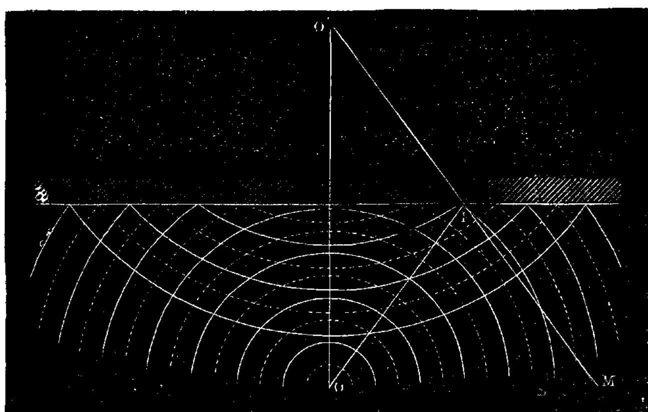
Sl. 15. Odbijanje vala.

Spomenuli smo već prije, da se taj pojav odbijanja vala pokazuje i na užetu, kad val dodje do na kraj užeta: val se tamo ne gubi, ne uništi, nego se vrati, kako pokazuje slika 15. Tu visi sa stropa sobe 9 metara dugačka cijev od kaučuka napunjena finim pijeskom (Tyndallov pokus), kako bi se njezina gibanja bolje vidjela. Ako je ruka u *a* izvela samo polovinu titraja, postaje samo brijeg vala, koji polako teče do kraja *c* (lijeva slika 1.). On se odbije od *c* i vraća natrag u položaju 2 (desna slika). Mogli bismo po suprotnom položaju reći: brijeg se vala kod odbijanja vraća kao dô.

Na vodi se pojav odbijanja u ovoj čistoći nikada ne može vidjeti, jer se odbijeni valovi sastaju s valovima, koji još dolaze, pak se pojav zamrsi. No nešto će o zakonima odbijanja pozoran posmatrač ipak opaziti. Uzmimo, da je morska obala ravna, osovna pećina, a fronte ravnih valova morskih udaraju usporedno sa stijenom na obalu. Ne će biti teško utvrditi, da su i fronte odbijenih valova, koji se vraćaju u pučinu, takodjer pravci usporedni s obalom. Ako mjesto fronta vala na oko uzmemo zrake njihove, mogli bismo reći zakon, da se valovi, koji *okomito* udaraju o obalu, takodjer i *okomito* od nje odbijaju.

Ako pak fronta ravna vala koso udara o spomenutu obalu, mnogo je teže običnim, pa bilo i veoma pomnim, motrenjem otkriti, kako se ovaki val odbija. Tek ćemo ovdje spomenuti, da fronta odbijena vala s obalom čini isti kut, kao i fronta dolazećega vala, no odbijeni val ide na drugu stranu. Svratili bismo još pažnju na okrugle fronte valova na jezeru. I tu će pomno motrenje bar to pokazati, da su fronte odbijenih valova takodjer krugovi, samo su ti krugovi na suprotnu stranu ugnuti, kako to pokazuje slika 16.

U točki je *O* izvor kružnih valova na vodi, *AB* je ravna obala, od koje se odbijaju; bregovi su tih valova označeni u slici izvučenim lukovima, a dolovi iscrtanim. Fronte odbijenih valova idu baš tako natrag u pučinu jezera, kao da dolaze od točke *O'*, koja je na okomici potegnutoj iz *O* na *AB* isto tako daleko iza *AB*, koliko je *O* ispred *AB* (simetrična točka). Kako su zrake vala svagda okomite na fronti njegovoj, bit će na pr. *OI* jedna zraka prvotnoga vala, a *O'IM* zraka odbijenoga vala, koja ide k istoj točki. Ako nešto pozornije isporediš zraku prvotne fronte *OI* sa zrakom odbijene fronte *IM*, lako ćeš čitati iz slike ova dva zakona:



Sl. 16. Odbijanje valova.

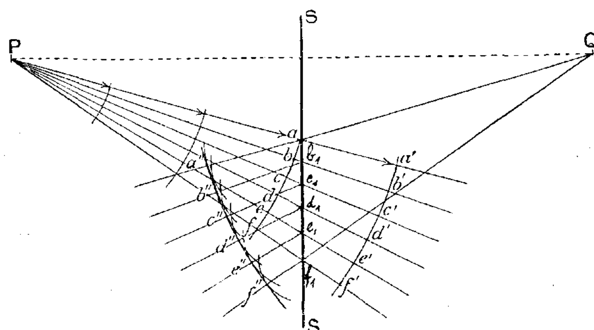
1. Zakon: Zraka dolazećega vala i zraka odbijenoga vala u istoj su ravnini s okomicom na granicu u točki upadanja. Na pr. *OI, IM* i okomica na *AB* u točki *I* u istoj su ravnini.

2. Zakon: Kut upadanja jednak je kutu odbijanja. Na pr. *OI* i *IM* čine jednake kute s okomicom u *I*.

Na našem se žlijebu sl. 1. i odbijanje valova može lijepo potvrditi pokusom; navlastito, da se kružni valovi odbijaju, kao da dolaze iz točke iza obale. U žlijeb utaknem ravnu kovnu ploču i prstom izvodim kružne valove; svak vidi, da se prvobitni valovi poslije odbijanja vraćaju s obrnutom krivinom, kao da su postali u nekoj točki iza kovne ploče.

Tko samo malo geometrije zna, lako će dokazati ispravnost obaju zakona.

Ovdje nas je nešto strah prigovora onih čitalaca, koji običavaju svaku stvar, o kojoj razmišljaju, nešto dublje promozgati. Istina je: Opisasmo pojav odbijanja vodenih valova, a osnovne zakone njihove pročitasmo iz jednostavne crtnje toga opisa, potvrdismo pače te zakone i pokusima na našemu žlijebu. No ipak um naš osjeća još jednu prazninu u tom pitanju: A zašto se valovi baš tako odbijaju? Ne bismo li mogli pomoću osnovnih zakona za valovito gibanje razjasniti, da se valovi na vodi baš moraju da odbijaju onako, kako to vidjesmo na pučini i kako nam potvrdiše pokusi? Red je, da i takomu čitaocu damo odgovor. Velimo mu, da se pomoću prije razvijenih dvaju osnovnih načela (str. 26. i 28.) može sa šestarom u ruci lako i na



Sl. 16a. Odbijanje vala.

papiru uvjeriti, da se valovi moraju baš onako odbijati. Taku crtnju pokazuje mu slika 16a. Iz P izlazi kružni val na vodi. Naslikano je nekoliko zraka (njih 6) i komadić kružne fronte; strjelice pokazuju smjer, u kojemu fronta ide. U put toj fronti namještena je zapreka daljemu širenju SS (zid, pećina). Kružna fronta ne udari sva u istom času na zid; najprije udari dio kod a. Da ga nije ustavio zid, taj bi komadić fronte na pr. u $^1/_{10}$ sekunde došao bio do a', idući u istom smjeru sve dalje po vodi. No jer mu zid ne da dalje, postaje a po Huyghensovu principu isbodištem novoga kružnoga vala, koji se oko a kao središta širi natrag po vodi na sve strane. Hoćeš li da znaš, gdje će mu fronta biti nakon $^1/_{10}$ sekunde, a ti ćeš u šestar uzeti daljinu aa' i oko a polumjerom aa' nacrtati kružni valić a''. Bliži komadić vala kod b udarit će o zid nešto poslije u točki b_1. Dužina b_1b' nešto je kraća nego aa'. Tu kraću dužinu $b\,b'$ uzimamo

sada za polumjer i opišemo kružni luk *b''*. Treći komadić fronte kod *c* još će kasnije udariti o zid kod c_1; i ta je točka ishodištem novomu kružnomu valiću, koji će nakon $^1/_{10}$ sekunde imati frontu svoju *c''*, a tu ćeš dobiti, ako sada polumjerom c_1c' opišeš luk oko točke c_1 itd. Tim načinom dobiješ same kružne lukove a'', b'', c'', d'', e'' f''..., a crta, koja ih sve dira, daje ti novu frontu *a''f''* vala, koji je postao odbijanjem prvotne fronte *af* od zida *SS*. Ta se fronta, kako eno vidiš iz slike, rasprostire u vodu natrag od zida; zrake su odbijena vala okomite na luku *a''f''*; eno ih nacrtanih u slici 6. (aa'', b_1b'', c_1c'', d_1d'', e_1e'' i f_1f''). Fronta se dakle odbijena vala rasprostire, kao da joj je izvor u točki *Q*, iz koje sve zrake njezine izlaze. Lako je sada dokazati, da na pr. zraka aa' prvotnoga vala i zraka *aa''* odbijenoga vala čine jednake kute s okomicom na zid, koju bismo načinili u točki *a*. (Okomica ta nije povučena, da slika ne bude odviše zamršena. No bit će dobro, ako čitateljica ili čitatelj ponovi ovu konstrukciju sa šestarom na papiru u mnogo većem mjerilu, pa da i onu okomicu povuče. Lako će se onda uvjeriti, da su oba kuta jednaka.)

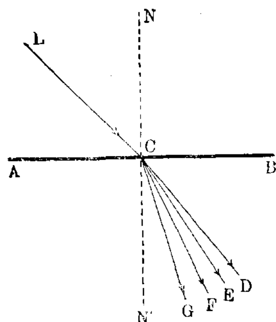
Što je dakle zapravo odbijanje vala? Ništa drugo nego promjena njegove fronte u drugi smjer i u drugi oblik! Opet nam dolaze na um vojničke vježbe. Ondje riječ zapovjednika izvodi različne promjene u smjeru i obliku fronte vojnika, ovdje udaranje vala o zapreku izvodi izvjesnu promjenu njegove fronte po stalnom, vječnom i nepromjenljivom zakonu!

6.

Mogli bismo sada uzeti dalje slučaj, da valovi vode ne udaraju o tvrdu obalu, od koje se moraju odbijati, nego da se vodi priključuje druga kakva tekućina na pr. ulje, u kojega je gustoća drukčija, nego li u vode, pak bismo se mogli upitati, što će se dogoditi, kad valovi moraju prelaziti iz jedne tekućine u drugu. Taki se slučaj u prirodi doduše ne će tako lako naći, ako ne možda na moru, gdje se često tople vrste vode dotiču hladnih, a to izlazi napokon na isto, kao da se sastaju dvije tekućine različne gustoće. Hoće li se pokazati kake promjene na frontama ravnih valova kod prijelaza iz jedne tekućine u drugu, iz redje vrste u gušću ili obrnuto? Zaista će se pokazati veoma zanimljiva promjena. Najbolje ćemo je možda uočiti, ako opet frontu ravnoga vala isporedimo s ravnom frontom vojnika, koji marširaju. Neka idu u potpuno ravnoj liniji na pr. po livadi. Motrilac sa strane vidjet će, kako izvježbani

vojnici točno drže ravnu frontu idući jednoliko u smjeru okomitome na frontu. Usporedo s njihovom frontom neka ide ravna medja oranice, prema kojoj se četa kreće. Sva će fronta u isti čas prijeći medju oranice i motrilac sa strane opazit će možda, kako se od časa prijelaza na oranicu nešto umanjila brzina marširanja, jer je teže ići po oranici, ali fronta će ostati kod dobro izvježbane čete isti pravac, koji je i prije bio: usporedan medji oranice.

No sasma će se drukčije slika pokazati motriocu, ako četa koso maršira k medji oranice. Dok su svi vojnici na livadi, marširaju istom brzinom, a fronta je savršen pravac. No kako vojnici prelaze medju oranice, postat će njihova brzina marširanja i nehotice manja spram brzine onih, koji još marširaju po livadi. Motrilac sa strane vidjet će jasno, da fronta sada nije više jedan pravac, nego da se na medji taj pravac prelomio u dva pravca, koji se baš na medji sastaju: fronta ima sada oblik razlomljena pravca. Tek kada budu svi vojnici na oranici, opet će se složiti u upravnu frontu, ali ta će biti nešto nagnuta spram predjašnje. Isti pojav nam pokazuje fronta ravna vala, kad mora da prelazi u vrstu tekućine drukčije gustoće. Ako je fronta usporedna medji, val prelazi u novu tekućinu, a da mu fronta ni malo ne mijenja svoga položaja: u usporednim će redovima, kao i prije u prvoj tekućini, ići val za valom u novu tekućinu. Razumije se po sebi, da ni zrake vala nisu ni malo promijenile svoga smjera: prije su bile okomite na granici obiju tekućina i sada su na njoj okomite.



Sl. 17. Lomljenje zraka vala.

No ako fronta ravna vala dolazi koso na granicu obiju vrsta tekućine, fronta će se na granici prelomiti: kad je cijeli val prešao u novu vrstu, opet mu je fronta pravac, ali je taj pravac nešto nagnut spram predjašnjega. Nauka veli: Val se kod prijelaza u novu vrstu „slomio," i tomu pojavu daje ime „lomljenje valova". Razumije se opet, da i zraka vala nije mogla da ostane u svom smjeru, nego ga je na prijelazu promijenila, kako na pr. pokazuje sl. 17. Ako je *LC* zraka vala, koji koso dolazi na granicu obiju tekućina *AB*, promijenit će joj se smjer u *CD*, *CE*, *CF*, ili *CG*, prema tomu, je li manja, ili veća razlika u gustoćama obiju vrsta. Ime „lomljenje vala" ili takodjer „lomljenje zrake vala" očito potječe otud,

što zraka *LCD* izgleda kao štap slomljen u točki *C*. Zašto se val lomi? Očito samo poradi toga, što se on u novoj tekućini rasprostire drukčijom brzinom.

Uzrok će tomu, što fronte morskih valova nijesu potpuni pravci, nego više ili manje ugnute crte, biti u tom, što su se više puta lomili prelazeći preko vrsta različne topline, dakle i različne gustoće. Razumijemo sada i to, da lomljenjem mogu iz ravnih valova postati valovi s krivim frontama gdjekada sasvim nepravilnoga oblika.

Naš žlijeb (sl. 3.) može da pokaže i pojav lomljénja, na osnovi činjenice, da se brzina vala u vodi umanjuje u plitčini. To se postigne, ako se u vodu metne staklena ploča. Kad valovi teku preko ruba ploče, idu sporije. Udaraju li koso na rub, mijenja im se zaista smjer fronte i zrakâ: oni se lome.

Da skupimo resultat ovoga razmatranja u jedno: Kad god ravan val prelazi koso iz jedne tekućine u drugu različne gustoće, ostaje mu doduše fronta i u novoj tekućini pravac, ali taj je pravac spram predjašnjega nešto nagnut, val se slomio. To je lomljenje to jače, što je veći otpor valu u novoj tekućini.

7.

Još nam je jedan korak dalje poći u studiju valova na vodi. Spomenusmo već prije, da se odbijeni valovi na vodi sastaju s direktnima, pak da nam se tim čistoća pojava zamrsi. Nije druge, nego i tomu zamršenom pojavu bar donekle pogledati u oči! Da nadovežemo opet na morske valove! Tko nije na moru već opazio ovaj zanimljivi pojav: Val za valom ide k obali i o nju se svaki razbija. Al na hrptu dugačkoga vala često puta skakuću mali valići leteći preko njega većom brzinom, pa ga preteku i za čas ih eno već i na vrh brijega prednjega vala, da i njega preteku. Te male valiće kao da ništa ne smetaju oni veliki valovi na vodi, oni preko njih baš tako teku, kao da ih i nema, kao da je pučina glatka kao ulje! Tyndall lijepo opisuje taki pojav: „Za tihoga sam vremena motrio u luci grada Cowesa često s barke, kako se jarboli i užeta brodova zrcale u vodi. Slika užeta kazivala je stanje vode; duge i široke nepravilnosti pokazivahu, da prolaze oveliki valovi, mali usječci male valiće, koji lijetahu kao parasiti preko površine većih valova. More se znalo priljubiti zahtjevima svih tih valovitih njihanja, ve-

*

likih i malih. Pa još kad sam se veslom taknuo površine, ili kad bih pustio kaplje da padaju s vesla u vodu, našlo se mjesta i za presitne valiće, koji tako postajahu. Ovo redjanje površine morske u valove i sitne valiće išlo je daleko preko moga vidnoga polja; svaki si je val i svaki valić očuvao mjesto i pravo na opstanak usred množine drugih gibanja, koja su vodu podraživala“.

Gdjekada ćeš i na velikim morskim valovima moći vidjeti ovaku utrku. Dok valovi u duboku moru zaista jedan za drugim teku u odmjerenim razmacima uvijek jednakom brzinom, njihova se brzina umanjuje, kad dodju do plitčina i blizu k obali. Tu se može vidjeti katkada pojav, kako brži valovi stižu sporije, kako se preko njih prebacuju, i tako postaju gdjekada neobično veliki valovi.

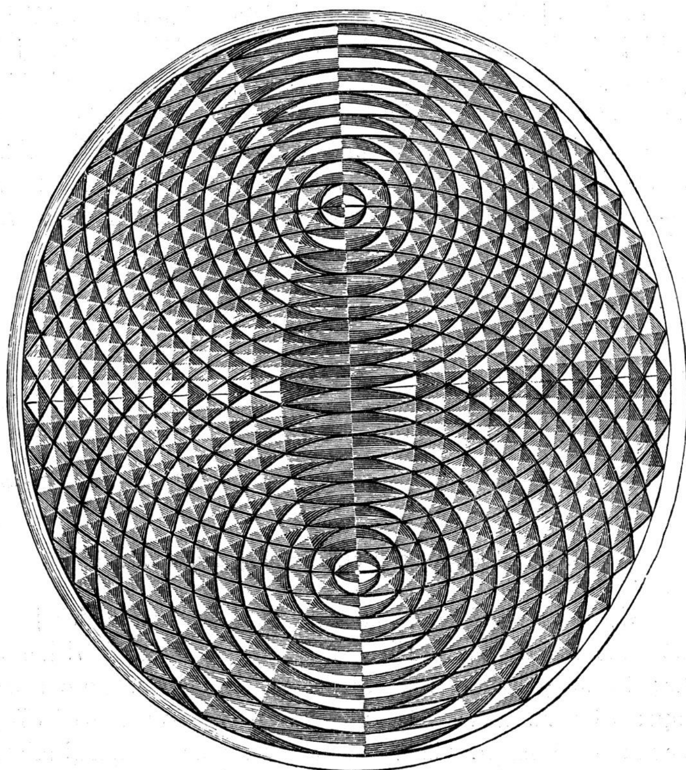
Ali i na tihom jezeru možeš vidjeti slične pojave. Baci samo dosta razdaleko dva kamena u vodu, pak ćeš vidjeti, kako se oko svakoga razvijaju lijepi i pravilni kružni valovi, kojih je svaki sastavljen od brijega i dola. Krugovi se sve dalje šire po vodi i valovi se obaju ishodišta presijeku, dotiču i napokon površinu vode razdijele u same male bregove i dolove. Gdje se sastane brijeg s brijegom, tu se čestice vode dignu do dvostruke visine, gdje se dô sastane s dolom, tu se čestice spuste do dvostruke dubljine, a gdje se dô sastane s brijegom, tamo se voda namjesti u svoj položaj mirovanja.

Umjesto, da baciš dva kamena u vodu, baci samo jedan blizu obale, pak će fronte kružnih valova teći k obali; ondje će se odbiti, postat će pri tom opet kružni valovi, koji teku od obale, pak će se i ovi sjeći s direktnima, a resultat će biti isti, kao i prije: valovi će se direktni i odbijeni ukrštavati i izvoditi ono lijepo talasanje površine, koje smo prije spomenuli. Tko nije na moru ili na jezeru već više puta opazio onu lijepu sliku, kad se svjetlost odbija od ovako na sitno uztalasane površine vode? Hrvatski jezik ima za to lijep izraz: more ili jezero se „z i b a“. Još je ljepši učinak kod žive. Ako se u zgodnim sudovima ovaki direktni i odbijeni valovi ukrštavaju, mogu se postići jako lijepi pojavi. Slika 18., uzeta iz djela „Wellenlehre“ od braće Webera, pokazuje ljepotu ovakih učinaka. Ona nam prikazuje vanredno lijepo zibanje, kako se vidi na živi, kad se u okruglu sudu presijecaju prvotni i odbijeni valovi.

Veoma je jednostavan princip, po kojem se ravnaju svi ovi, na oko veoma zamršeni, pojavi „u k r š t a v a n j a“, ili, kako bi nauka rekla, „i n t e r f e r e n c i j e“ valova. On glasi: G i b a n j e s v a k e č e s t i c e v o d e j e d n a k o j e s u m i g i b a n j a, š t o i h p r i m a o d

pojedinih valova. (Princip superpozicije gibanja.) Pri tom treba dakako paziti na to, da gibanja mogu biti i suprotnoga smjera, pak se umanjuju.

Ako dakle na koju česticu vode s dviju strana u istom trenu dodje poticaj, da se diže nad mirnu površinu, ona će se dignuti tako visoko, kao da ju je potjerala jedna sila, jednaka sumi obiju



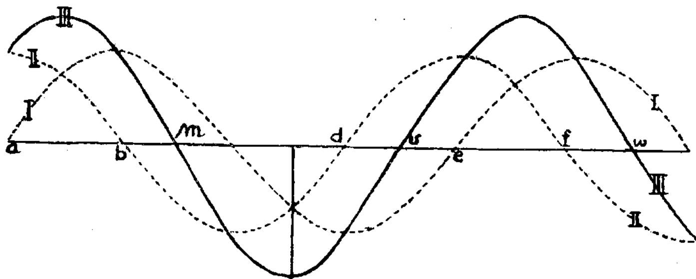
Sl. 18. Ukrštavanje (interferencija) valova na živi.

pojedinih sila. Stignu li česticu dva udarca, od kojih ju jedan tjera gore, a drugi dolje, bit će posljedak jednak razlici obaju udaraca. Pa da su na vodi ne dva, nego da je na njoj 10 ili 100 ili 1000 ishodišta valova bilo gdje, učinak je svagda isti; gibanje u svakoj točki nije drugo, nego suma sviju gibanja, koja u taj čas djeluju na tu točku. Posljedak toga sastavljanja može doduše biti tako zamršen, da ga mi ni najtočnijim motrenjem ne bismo mogli razmrsiti u sva

njegova počela, iz kojih je postao, no kad bismo to mogli učiniti, potvrdio bi se istaknuti princip i u najzamršenijem primjeru.

U jednostavnijim ćemo slučajevima moći s pomoću crtnje odrediti oblik novoga vala, koji postaje ukrštavanjem dvaju valova. Neka nam na koncu našega izleta na uztalasanu vodu bude dozvoljeno, da to na dva ili tri zanimljiva primjera pokažemo.

Negdje su na vodi dva ishodišta valova (na pr. na mirnom jezeru spustim na dva mjesta jednake kamene iz iste visine u vodu). Valovi će onda biti jednake dužine i jednake visine (fizičar bi rekao jednake „amplitude"). Želimo saznati oblik vode na jednoj zraci, koja ide kroz oba ishodišta valova; jedan komad te zrake neka bude pravac *aw* naslikan u slici 19. Da površinom vode teče samo val I., primila bi ona na zraci *aw* oblik iscrtanoga vala I; da po njoj teče samo val II, koji dolazi iz drugoga ishodišta, imala bi voda oblik iscrtanoga vala II.

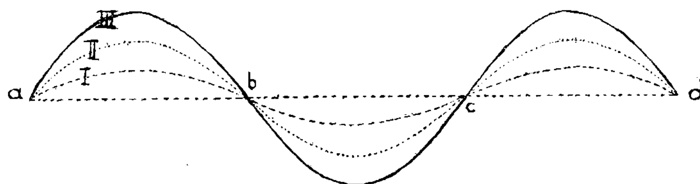


Sl. 19. Ukrštavanje (interferencija) dvaju valova.

Kako se vidi na slici, imaju oba vala jednake dužine, jer je dužina *ad* baš tako velika kao dužina *bf* drugoga vala. I visine su im jednake; to bi pokazalo mjerenje šestarom. No u nečem se ipak razlikuju: oba vala ne idu u isto doba kroz položaj mirovanja! Val I na pr. ide u točkama *a* i *e* kroz položaj mirovanja, a val II kod točke *d*. Fizičar bi kratko rekao: ova dva vala pokazuju ili imaju „razliku puta", i ta je razlika puta ovdje pravac *de,* koji je na pr. dugačak 2 cm. Valovi I i II imaju razliku puta od 2 centimetra. No mjesto da mjere tu razliku puta na centimetre, obično ju kazuju u dijelovima dužine vala, pak bi ovdje rekli, da je razlika putova naših dvaju valova baš jednaka jednoj četvrti od dužine cijeloga vala, a to se lako može pokazati šestarom.

Na osnovi našega gore istaknutoga principa bit će posljedak ukrštavanja ili interferencije ovih dvaju valova val izvučen debljom

crtom i označen brojem III. Svaka čestica vode izvršuje naime titranje obaju valova, a iz toga izlazi baš val III i oblik će vode biti u tom času označen crtom III. Što se dakle dogodilo sastavljanjem ovih dvaju valova? Postao je nov val, sastavljen od brijega i dola, kojemu je dužina *mw* ostala jednaka dužini valova I i II, ali visina ili amplituda novoga vala postala je drukčija, u ovom slučaju veća. Još mu je jedna razlika spram obaju valova I i II. Novi val III ima neku razliku puta i spram vala I i spram vala II. Razliku puta spram prvoga vala daje dužina *ve,* a razliku puta spram drugoga dužina *dv.* Šestar bi pokazao, da je jedna i druga razlika puta jednaka osmini od dužine cijeloga vala. Što nadjosmo u ovom primjeru vrijedi općeno: „Ukrštavanjem dvaju valova postaje nov val, koji u opće ima drukčiju visinu i pokazuje neku razliku puta spram obaju valova, iz kojih je postao".



Sl. 20. Ukrštavanje (interferencija) dvaju valova.

Dva su još slučaja, u kojima ukrštavanje valova izvodi veoma zanimljive i važne učinke. Jedan pokazuje slika 20., a drugi sl. 21.

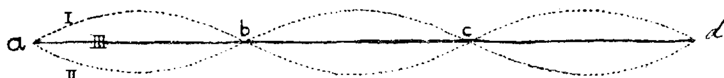
U prvoj su slici nacrtana dva vala jednake dužine *ac* (I i II, oba iscrtana), koji nemaju nikakve razlike puta, jer eno oba idu u isti mah kroz položaj mirovanja u točkama *a* i *c*. Val I tjera kod *a* česticu vode gore, a to radi i val II; kod točke *b* tjera val I česticu vode dolje, a to čini i val II; kod *c* opet oba vala tjeraju česticu vode gore; jednom riječju: valovi I i II nemaju nikakve razlike puta. Ukrštavanjem ili interferencijom postaje po našem osnovnom načelu, da svaka čestica vode izvršuje oba gibanja u isti mah, novi val III (deblje izvučen), koji nam daje pravi oblik vode u tom času. I on ima istu dužinu *ac,* ne pokazuje nikakve razlike puta spram valova I i II, ali ima veću visinu (amplitudu); sve u jedno: Oba se vala u ovom slučaju ukrštavanjem pojačavaju.

Ako pak u slici 21. pogledamo oba vala I i II, koji će se sastaviti u nov val, vidimo prije svega, da val I kod točke *a* tjera

čestice vode g o r e, kod *b* ih tjera d o l j e, kod *c* opet gore; val pak II tjera čestica vode kod *a* d o l j e, kod *b* g o r e, a kod *c* opet d o l j e. Ova dva vala imaju dakle neku r a z l i k u p u t a. Kolika je? Val I ide kod točke *a* gore kroz položaj mirovanja, a val II ide tek kod točke *b* gore kroz položaj mirovanja, dakle je razlika putova tih dvaju valova *ab*, a to je baš p o l o v i n a od dužine cijeloga vala. Iz ukrštavanja ovih dvaju valova izlazi po našem osnovnom načelu — m i r o v a n j e čestica vode, one se niti dižu, niti spuštaju pod položaj mirne vode. Izlazi oblik vode izvučen u slici debljim pravcem III.

Resultat ovih naših posljednjih dvaju razmatranja mogli bismo dakle ovako reći: D v a v a l o v i t a g i b a n j a, j e d n a k e v i s i n e i j e d n a k e d u ž i n e v a l o v a, *uništit* ć e s e k o d u k r š t a v a n j a p o s v e m a, ako imaju razliku puta jednaku polovini dužine vala, a *pojačat* će se najviše, a k o n e m a j u n i k a k v e r a z l i k e p u t a.

Izbija dakle veoma znamenita činjenica, d a s e d v a v a l o v i t a g i b a n j a k o d u k r š t a v a n j a m o g u i p o s v e m a u n i š t i t i, pa čestice vode miruju!



Sl. 21. Ukrštavanje dvaju valova.

Mogli bismo ovako nastaviti studij zanimljivih pojava kod ukrštavanja valova na vodi i doći do svakovrsnih zamršenih oblika valova, kakove zaista svaki čas možemo vidjeti na uzburkanome moru, pa i na jezeru. Prekidamo nit ovih razmatranja, jer se bojimo, da smo i onako već suviše apelirali na strpljivost čitalaca! Neka nam oproste, ali drukčije ne mogosmo uraditi, kad imamo na oku naš zajednički put u divno carstvo tonova i boja! Površnost i jednostranost karakterističan je doduše znak velikoga dijela današnje inteligencije u opće, pa i naše; znamo, da će gdjekoji član njezin s toga stajališta osuditi ovaka razmatranja. Dovikujemo mu, neka ostavi knjige ove ruke, to nije hrana za njegov um! Ali rad smo na osnovi našega iskustva istaknuti i to, da površnost i jednostranost naobrazbe nigdje toliko ne škodi i pojedincu i cijeloj vrsti narodne inteligencije, koliko u p r a v o m p o z n a v a n j u p r i r o d e. Tko bolje poznaje prirodu, tko se zanimanjem zadubljuje u njezine tajne, taj sve na svijetu gleda drugim okom i naše je tvrdo uvjerenje, 'da bi mnogo toga u životu naroda hrvatskoga drukčije bilo, da inteligencija, koja

ga vodi, više mari za prirodnu nauku, da bolje pozna prirodne zakone i da njezina otkrića dubljim razumijevanjem prati.

Nada, da je i u hrvatskom narodu dosta ljudi prožetih ovim mišljenjem navlastito u mladjem naraštaju, utisnula nam je pero u ruke, da ih povedemo u carstvo valova i zraka, u kojem cvjetaju baš sada toliki novi, gotovo bajni cvjetovi. Slabo je doduše to pero, no možda će ipak gdjekojemu utrti put u ponosnu zgradu ovoga dijela prirodne nauke. Ako i bude trnovit poradi nespretnosti pisca, ipak će čitaoca — nadamo se — za trud i muku njegovu obilno nagraditi žetva, skupljena na tome putu!

* * *

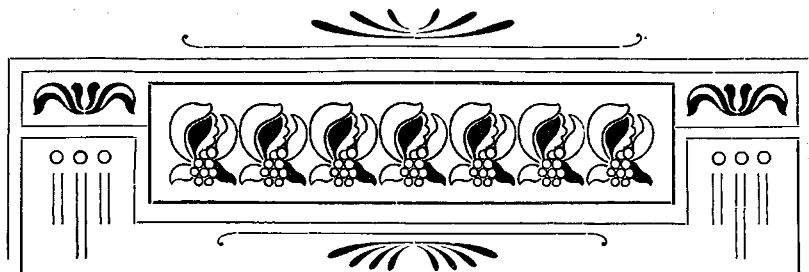
Naš je prvi izlet evo bio na pučinu uztalasane vode, te mi pokušasmo, da bar nešto pročitamo od onoga, što nam kazuje ta nestašna i nemirna pučina. Smjelo smijemo reći, da smo i bez naučnoga aparata dosta toga pročitali i nema sumnje, da ćemo od sada drugim okom gledati igru valova na vodi. Ali da još jednoč pregledamo pročitani list prirode!

U neznatnom titranju ili njihanju najmanjih čestica vode nadjosmo izvor i kružnim i ravnim valovima na vodi; svaki sastoji od brijega i dola. Svaki put, kad čestice u izvoru svrše jedan potpuni njihaj, načinio se na vodi novi val. Val za valom u odmjerenoj daljini pravilno ide prividno po vodi i sva površina njezina po malo dobije onaj karakteristični valoviti oblik. Smjer u kojem val ide, svagda je okomit na čelu ili fronti vala i tomu smjeru dadosmo ime „zraka vala“. Kod okruglih su valova sve zrake pravci, koji se sastaju u ishodištu njihovu, a kod ravnih su valova sve zrake medju sobom usporedni pravci, koji su okomiti na čelu vala. Brzina, kojom val po vodi teče (brzina rasprostiranja), odredjuje se jednostavno, ako se dužina vala razdijeli trajanjem jednoga njihaja. Osim popriječnih (transversalnih) valova, kod kojih svaka čestica titra okomito na zraku — a taki su valovi na vodi i na užetima — upoznasmo i uzdužne valove, kod kojih svaka čestica titra *u* smjeru zrake. Kod prvih je svaki val sastavljen od brijega i dola, kod drugih od zgusnute i rastanjene vrste, koje u zraci teku s jednoga kraja drugomu, kao ondje bregovi i dolovi. Dva se osnovna zakona ističu kod vodenih valova: zraka je svagda okomita na fronti vala i svaka je točka fronte ishodište novim valićima, koji se šire istom brzinom (Huyghensov princip). — Kad fronta vala udari o obalu, ne uništi se gibanje, nego se val odbija od obale,

postaje novi val, koji ide natrag u pučinu. Zraka direktnoga vala i i zraka odbijenoga čine svagda jednake kute s okomicom na obalu. Prelazi li pak val u vrstu vode drukčije gustoće, on se lomi t. j. fronta mu nešto promijeni svoj smjer. Zraka direktnoga i zraka slomljenoga vala nisu jedan pravac, nego pravac slomljen kod prijelaza iz jedne vrste u drugu. Pojav se lomljenja pokazuje samo kod prelaženja valova u vrstu drukčije gustoće poradi toga, što se val u toj vrsti ili sporije ili brže rasprostire. — Osobite pojave, gdjekada veoma lijepe, otkrismo, kad se dva vala, ili njih više, na vodi ukrštavaju. U opće postaje nov val, koji ima drukčiju visinu (amplitudu) i neku razliku puta spram valova, iz kojih je postao. Napose se ističe slučaj, da se ukrštavaju dva vala jednake dužine i jednake visine. Ako im je razlika puta jednaka baš polovini dužine vala, uništit će se posvema gibanje vode; ako pak nemaju nikakve razlike puta, pojačaju se najviše (visina će se vala udvostručiti). Ukrštavanjem ili interferencijom valova na vodi postaje lijepi pojav „zibanja vode".

To su ponajglavnije tekovine našega izleta na uztalasanu pučinu! One će nam biti pouzdane vodilje u sve naše dalje izlete u područje nevidljivih valova i zraka, koji oko nas bez prestanka lijetaju, izvodeći još kud i kamo krasnije pojave od vidljivih valova na vodi. U tome području gledamo duševnim okom sve, što tjelesnim vidjesmo na uztalasanoj pučini. Pozivamo prijazne čitateljice i čitatelje na ovu novu ekskurziju u područje nevidljivih valova!





II.

Zvučni valovi i zvuk u opće.

Pojav zvuka u prirodi. — Izvori zvukova. — Rasprostiranje zvuka u uzduhu, u tekućinama i čvrstim tjelesima. — Brzina zvuka. — Odbijanje i lomljenje zvuka. — Jeka.

Pomislite ovaj lijepi svijet oko nas nijem! Uzeli ste mu polovinu njegove krasote. Apsolutna tišina za nas je isto, što i potpuni mir — što i smrt! Naš se je cijeli život tako srasao sa slušanjem različnih zvukova, da gotovo ne možemo ni da shvatimo, kaki bi bio svijet — posvema tih! Kratak će osvrt po svijetu oko nas to potvrditi. Nema trenutka, da na Zemlji ne bi bilo makar kakih glasova; riječ „od sto glàsa glasa čuti nije“ izraz je za nešto osobito, svečano. Kolika bila razlika izmedju nesnosne buke velikih naših gradova, koja dan i noć zaglušuje uha njihovih obitavača i lagodnog i nejasnog šuštanja, koje daje osobit biljeg ladanjskomu kraju, ipak je jasno, da bez glasa nigdje nema zemaljske prirode. Pak ni ondje, gdje se gube posljednji znaci života, u vječnom ledu najviših gora i u vječnom ledu polarnih mora nema posvemašnje tišine! Makar kolika razlika bila izmedju strašne buke uzburkana oceana i neobične tišine u spomenutim krajevima, koja toliko godi čovjeku, koji u gradskoj buci provodi dane života svoga, stalno je, da i te najtiše krajeve oživljuju glasovi, što živih stvorova, što mrtve tvari. Fino uho Tyndallovo moglo je tek u vječnom ledu Alpa uživati u harmoniji najviših glasova zareznika, koja se u dolu, gdje struji bujni život ljudski, posvema gube. Pa ako već ništa drugoga nema, što bi se u

prirodi zemaljskoj oglašivalo, eno nam vjetra, koji se javlja u najraznoličnijim melodijama, kad se velike mase uzduha u našoj atmosferi stanu neodoljivom silom gibati i na svom se putu ni malo ne obaziru na zapreke na tlu, u bregovima i šumama. Tko ne zna te sve stupnjeve melodije od najnježnijega lahorića, toliko puta opjevana, pak do strašnoga urlika u ciklonu kineskoga mora? Ako se još umiješa munja s gromom, evo potpune strahote, kojoj u zemaljskoj prirodi ima tek jedan premac: eksplozije vulkana i tutanj potresa. Strašni su to zvuci zemaljske prirode! Spomenimo se ovdje još i neugodnoga, dosadnoga i jednoličnoga klopotanja u mlinovima i tvornicama, u kojima rade različni strojevi. Neugodni su to doduše zvuci, al još uvijek nama mnogo miliji od praskanja pušaka i topova, kad na barbarskom razbojištu, nedostojnome kulturnoga čovjeka, životi ljudski padaju kao snoplje!

Kud i kamo nam je milija druga vrsta zvukova, što ih ljudi, a i neke životinje izvode s pomoću posebnih organa. Glas čovječji, taj najljepši i najsavršeniji izraživač njegovih misli, za nas je bez sumnje najzanimljiviji zvuk u čitavoj prirodi. Tko ne zna, što on sve može? „Kad zaplače, do neba se čuje, kad zakune i zemlja se trese“. Kad zapjeva, tanko glasovito, tko da reče svu nježnost čuvstava u duši našoj? Toliko je krasota ovoga zvuka zanijela čovjeka, da je na toj osnovi stvorio jednu od najmoćnijih umjetnosti — muziku ili glazbu, koja tako savršeno zna izraživati, čega govor najumiljatiji nigda ne umije da reče. On se nije pače ni ustavio kod krasnoga dara prirode, glasa svoga, nego je išao tražiti u različnim instrumentima nove izvore sličnih glasova, kako bi još postostručio svoj glas. Mnogo ih je doduše sastavio, ali nijedan nije par grlu ljudskomu! Pa da nema ništa drugo u carstvu zvukova do ovih pravilnih i umiljatih zvukova, koji izviru iz grla čovječjega i različnih glazbala — poznatih svakomu uz ime „muzikalnih glasova ili tonova“, nije li nam već to dosta, da opravda naš mali izlet u carstvo glasova, kako bi iz bližega nešto o tom saznali, kaki je u njemu red? A zaista je u njem tako divan red, da je „harmonija“ u njem postala oznakom za svaki red u ma kojem području ljudskoga znanja i umijenja. Zavirimo malo bar s prikrajka u tu harmoniju!

1.

Svatko zna, da pojave u carstvu zvukova ne idu u red onih pojava prirodnih, koje se svagdje i svagda očituju: zvono ne daje

uvijek glasa, a sve ako ga daje, o tom glasu njegovu ništa ne znaš, ako ne dopire do dvaju malih otvora u lubanju — do ušiju. Sirotani, kojima ovo sjetilo sluha ne valja! Za njih nema priroda jednoga od najljepših čarova svojih. Zvuk je dakle nešto, što možemo da osjetimo samo s pomoću uha, a uzrok je tomu — to znamo iz svakidašnjega iskustva — nekakvo gibanje u tijelu, koje je izvor zvuka. Pojav je zvuka dakle bez sumnje dvojak: treba da se nešto osobita zbiva u tijelu, koje je izvor zvuka, a u drugu ruku treba osoba, koja može da prima učinak toga. Izvanja je pojava kod zvuka ono osobito gibanje zvučnoga tijela, izvor zvuka, i prenošenje toga osobitoga gibanja na onaj dio našega tijela, koji je od prirode baš tako udešen, da ga prima, a unutrašnja je pojava kod zvuka podraživanje živaca naših, koje onda izvodi osjet zvuka. Ukloni jedan ili drugi dio, zvuka je nestalo! Zvuka nema, ako izvor njegov miruje, zvuka nema, ako je slušni živac prerezan ili uzet, ali zvuka nema — to još dodajemo — ni onda, kada izmedju izvora njegova i uha nema tvari, koja bi služila kao neki posrednik izmedju izvora zvuka i uha! Nisu li gotovo svakomu već sada na umu ova dva pitanja: Zvono zveči ili daje glas: a što se to zbiva u tvari, od koje je zvono gradjeno i u uzduhu, koji je izmedju zvona i uha? Što se pak zbiva u našem uhu i u nama?

Odgovor na ova dva pitanja mogli bismo čitatelju reći u nekoliko redaka, i on bi nam jamačno vjerovao. Mi toga ne ćemo učiniti, jer bi se ogriješili o vrhovno načelo svakoga realnoga znanja o prirodi, koje ište: ispituj nedvoumnim načinom, izvodi, ako treba, i pokuse, pa onda na toj osnovi zaključi po zakonima zdravoga mišljenja. Što tim putem nadješ, to je prava istina, to je pravo realno znanje o svijetu oko tebe, i znaj, nema moći tako silne, nema volje u tom svijetu tako jake, nema u opće vlasti, koja bi makar i najmanju crtu u tako stečenoj istini mogla promijeniti — ni danas ni ikada! Najveći je silnik ovdje nemoćan, on se ovim prirodnim zakonima, vječnim i nepromjenljivim, mora baš tako pokoriti, kao posljednji njegov podanik. Ako je zaista već dosta velik duševni užitak znati za ovelik broj ovakih istina i onda ih u svom duševnom i tjelesnom radu upotrebljavati, da bude taj rad razložan, a po tome i uspjeh života što veći, možda je užitak još mnogo veći, ako si svojim trudom došao do uvjerenja, da je tako i ne drugačije. Nama se čini, da je ovaj drugi duševni užitak zaista veći od prvoga, pa poradi toga kanimo i ovdje prijazne čitateljice i čitatelje tim putem

voditi do neke visine znanja u carstvu glasova, nadajući se, da ćemo i njima prirediti tim koji časak onoga višega duševnoga uživanja, što smo ga sami osjetili, izučavajući ove lijepe pojave prirodne.

2.

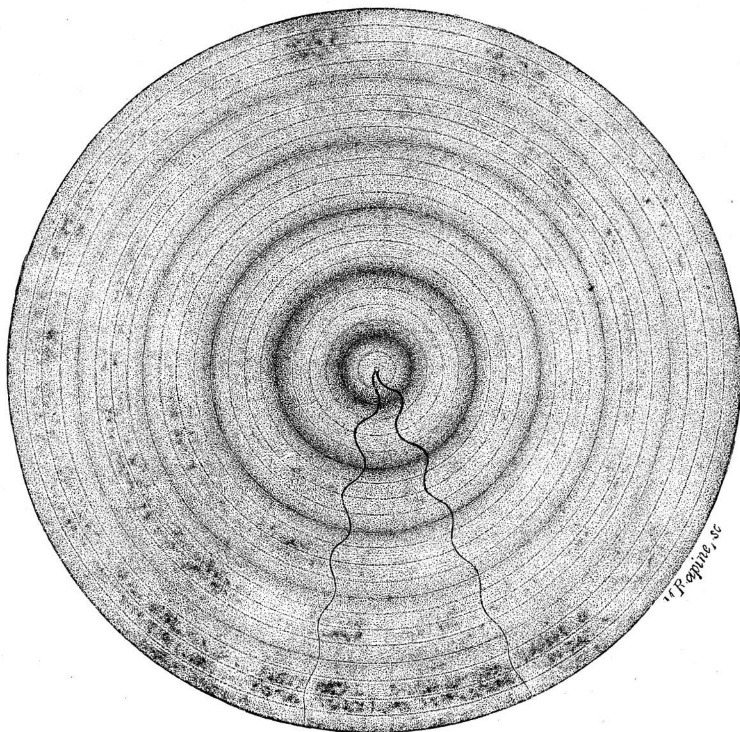
U svojim uzornim predavanjima o zvuku običavao je Tyndall svojim slušačima najprije pokazati ovaj pokus, da im razjasni, što je zvanji pojav zvuka.[1] U malom balonu od kolodija bila je smjesa kisika i vodika — plin praskavac. Kad bi joj primaknuo plamen, balon bi se rasprsnuo i svako bi uho u dvorani osjetilo prasak, dakle neku vrstu zvuka. Za pravo je svako uho osjetilo potres (Erschütterung) uzduha tako jak, da bi si osjetljivi ljudi i nehotice rukom začepili uha, bojeći se ponovnoga potresa. Što se to dogodilo u balonu i kako je taj potres uzduha došao do slušnoga živca? Jesu li možda plinovi, koji su se rasprsnuli, čestice uzduha oko sebe potjerali ravno u uho na slušni živac, kao što na pr. top baci kuglu ravno u cilj? Ni traga tomu! Pojav se je ovako odigrao: Kad se plamen taknuo smiješanih plinova, oni su se kemijski sastavili i pri tom se najednoč razvio velik stupanj topline. Uzduh se na tom vrućem mjestu naglo rastegnuo i potisnuo velikom silom uzduh oko sebe natrag na sve strane: oko mjesta rasprsnuća načinila se kuglovita vrsta (šuplja kugla) sgusnutoga uzduha. No prve porinute čestice ne odletješe daleko: njihov se lijet udarcem o bližnje čestice mirna uzduha naskoro ustavio i one se vratiše u rastanjeni prostor. Prve čestice uzduha dakle samo izvedoše jedan ili nekoliko snažnih titraja i primiriše se opet na svome mjestu.

No kako je uzduh tvar puno redja od vode, jasno je, da će se isto gibanje uzduha brzo sve dalje prenositi u uzduhu, dok će se predjašnje čestice smiriti. Sve dalje i dalje kuglovite vrste uzduha primiše na se titranje svojih prednjaka: prvo se gibanje rasprostire kao uzdušni val na sve strane prostora. Svaki je val sastavljen od zgusnute i rastanjene vrste, a fronta je vala sada — kugla, a ne krug kao na vodi (sl. 22.). Tko je predjašnji članak pomno pročitao, s mjesta će prepoznati, da se ovdje radi o uzdužnim valovima: mjesto bregova i dolova imamo zgusnute i rastanjene vrste, a mjesto krugova imamo kugle kao fronte tih valova. U našem pokusu prve čestice uzduha u ishodištu zvuka zatitraše jedan

---

[1] J. Tyndall, Der Schall. 3. Auflage. Braunschweig 1897.

put veoma žestoko, u uzduhu se sobe širi samo jedan val, a kad udari fronta njegova o naše uho, mi taj udar osjetimo kao zvuk osobite vrste, kojemu dajemo ime — prasak. I ovdje su sve zrake vala pravci okomiti na njegovu čelu (fronti), a izlaze iz ishodišta zvuka. Slike 11., 11.a i model sl. 12. jasno prikazuju, što se dogadjalo u uzduhu. Udarac na prve čestice uzduha oko mjesta rasprsnuća rasprostro se kao uzdužan val kroz uzduh, potresao je



Sl. 22. Rasprostiranje zvučnoga vala u uzduhu.

bubnjić u uhu, a posljedica je tomu potresu — osjet zvuka. Takomu valu dajemo ime „zvučni val“ (onde sonore, Schallwelle), pa kao resultat ovoga našega ispitivanja možemo sada izjaviti ovu istinu:

„Ako se bilo gdje u uzduhu potresu čestice njegove izvodeći titraje ili njihaje s kojega mu drago razloga, načine se oko toga mjesta kugloviti uzdužni valovi, koji se sve dalje rasprostiru. Fronte su im

kugle. Zovemo ih „zvučni valovi“, a svaki sastoji od jedne zgusnute i jedne rastanjene vrste. Kad fronta takova vala udari o uho, osjetimo zvuk. Zrake su toga vala pravci, koji izlaze iz središta kugala na sve strane, i oni su svagdje okomiti na fronti.

Na ovaj važni posljedak našega razmatranja nadovežimo nekoliko zanimljivih izvoda! Prije svega razbiramo, što je izvanji pojav zvuka. Zvuk po tome ne može da bude drugo, nego uzdužno valovito gibanje uzduha, koje se od izvora zvuka odredjenom nekom brzinom rasprostire u uzduhu na sve strane. Dalje nam je jasno, zašto su se od eksplozije uha svih slušača u dvorani potresla, ma gdje oni bili: na galeriji visoko iznad predavaoca ili u najnižoj klupi ispod njega. Baci oko na sliku 20., pak ti je to sada s mjesta jasno. Čelo kuglovita zvučnoga vala udari u istom času o sva uha, koja su u jednakoj daljini od ishodišta njegova; u isti se čas potresu bubnjići svih tih uha i ona čuju zvuk (prasak). Još više: ako ljudi nisu znali, što se dogodilo u ishodištu praska, nehotice će svi okrenuti glave k tomu ishodištu; oni traže izvor prasku, a gdje? Okomito na fronti vala t. j. u smjeru zrake vala. Ovdje jasno izbija velika važnost zraka zvučnih valova: makar da fronta vala potrese bubnjić uha, čovjek ipak traži i ne znajući za što, izvor zvuka u smjeru zrake okomite na fronti. Po tom nam je razumljiva rečenica, da iz izvora zvuka izbijaju na sve strane „zvučne zrake“, pa se često govori o zvučnim zrakama mjesto o zvučnim valovima.

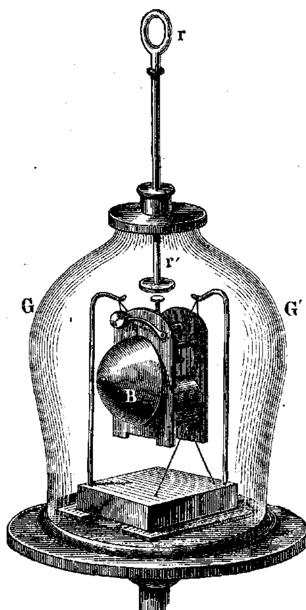
Još nam je i treća činjenica sada jasna. Što je dalje uho od ishodišta zvučnoga vala, to kasnije dodje do njega fronta zvučnoga vala, to kasnije čuje uho zvuk. Kako si prije na vodi gledao tjelesnim okom, gdje po njoj teče val za valom odredjenom brzinom, pak si ih po njihovim frontama brojio, tako ovdje gledaš duševnim okom, kako u uzduhu teče uzdužan val za valom takodjer odredjenom brzinom, ali ih ne možeš brojiti, kao na vodi, jer im frontâ ne vidiš, a ni na tijelu svom inače ništa ne osjećaš, kako preko njega prelaze na izmjence zgusnute i rastanjene polovine njihove. Pače, da nam priroda nije dala posebnoga organa — uha, koji umije da prima te valove i dalje ih mozgu dojavljuje, mi ne bismo ni znali, da se je more uzduha oko nas, kojemu na dnu živimo od kolijevke do groba, u obće uzburkalo od eksplozije onoga našega balona!

Kod valova na vodi nipošto nije tako! Čovjek slijep i ujedno gluh mogao bi lako osjetiti valove na vodi. Trebalo bi samo, da bos stane u vodu. Dok je pučina mirna, živci bi mu noge javljali visinu, do koje mu voda dolazi. Kako bi se voda uztalasala, osjetio bi s mjesta, kako mu se od svakoga vala voda naizmjence diže i spušta, taj bi siromah pače mogao valove i brojiti! Kako se zaista i zvučni valovi odredjenom brzinom u uzduhu rasprostiru, to nam lijepo pokazuje svakidanje naše iskustvo: prasak puške, ili topa čuju oni, koji su blizu, u onom času, kad plane; koji su daleko, vide najprije plamen, a tek nešto kasnije čuju prasak; toliko kasnije, koliko je trebala fronta zvučnoga vala, da dodje kroz uzduh do njihova uha. — Ako vojnici, kaže Tyndall, poredjani u krug ispale puške u istom trenu, čut će osoba u središtu toga kruga samo jedan prasak. Ako su pak poredjani u upravnu frontu, ne će čovjek, koji stoji u istom pravcu na jednoj ili na drugoj strani fronte, čuti jedan jedini prasak, nego kraće ili duže valjanje praska. I prasak strijele, koji je baš tako časovit kao i prasak našega balona, može se otegnuti u poznato valjanje groma, ako se je električna iskra javila na različnim točkama dugačka oblaka. Ako maršira dugačak niz vojnika s glasbom na čelu, ne mogu svi koracati po istom taktu, jer glasovi muzike ne dopiru u istom trenu do ušiju prednjih i stražnjih vojnika. Sve će te pojave sada posvema jasne biti čitatelju i on će si ih lako i sam rastumačiti, a nama je korak dalje poći u proučavanju ovih prvih nevidljivih valova, koji nevidjeni burkaju naš uzdušni ocean.

2.

Treba li zbilja uzduha, da se zvuk rasprostre od svoga izvora do našega uha? Tako se pitao već prije trista gotovo godina glasoviti Englez, fizičar Robert Boyle (čitaj: Bajl), pak je nastojao, kako bi se o tome uvjerio nedvoumnim pokusima. Kako mi naime širenja zvučnih valova u uzduhu ni počem ne opažamo, mogli bismo zaista u prvi mah dvojiti o tome, je li uzduh baš tako nuždan za postajanje zvuka, kako to čas prije razložismo. Pokus, kojim je to zaista dokazao, bio je neko vrijeme zaboravljen, pak ga je tek godine 1705. ponovio Hawksbee (čitaj: Haoksbi). Zvonce je smjestio pod staklen recipijent sisaljke za rastanjivanje uzduha. Dok je u recipijentu bilo uzduha, čuo se glas zvonca; kad je uzduh isisao iz njega, bio je glas zvonca tako slab, da se je jedva čuo, kad bi primaknuo uho sasma blizu zvoncu. Tyndall je pred svojim slušačima

obnovio taj prijeko važni pokus ovako: U staklenu sudu *GG'* (sl. 23.), koji stoji na pladnju uzdušne sisaljke, visi na tankim koncima zvonce *B* spojeno s urom, koja tjera batić, čim se odapne. Kad je iz suda gotovo sav uzduh izvukao, odapeo je pomoću motke *rr'* batić. Oči gledaju, kako batić sveudilj udara o zvonce, ali uho tek u najvećoj blizini čuje slab glas zvona! Mjesto uzduha puštao je Tyndall u sud vodik, plin 14 puta lakši od uzduha: glas se zvonca nije gotovo ništa ujačao time, što je u sud ušao ovaj jako tanki plin! Kad je sisaljkom ponovno i oštro radio, izvukao je gotovo sav vodik i uzduh iz suda *GG'* („recipijenta") i gle: svi su gledali, kako batić udara o zvonce, ali glasa nije nitko čuo! Pa i onda, kad bi tko uho prislonio na sud *GG'*, ne bi čuo ni glaska. Zvonce je objesio na tanke konce, jer da je stajalo na pladnju sisaljke, titraji bi se zvonca prenosili na pladanj, a preko njega na izvanji uzduh, pak bi slabi glas ipak dopirao do uha. Protupokus: Tyndall je polako puštao uzduh natrag u prazni prostor; s mjesta se čuo slab glas zvonca: kako je uzduh u sudu postajao gušći, postajao je glas sve glasniji ili jači i kad je na koncu pokusa bio uzduh u sudu iste gustoće, kao vani, svi su slušači u dvorani dobro čuli glas zvonca.



Sl. 23. Zvuk se ne rasprostire u praznu prostoru.

Sada nema druge, nego proglasiti kao neprijepornu istinu: Uzduh je nuždan prenosnik, ili, ako hoćete, prevoznik („skeledžija") zvuka. I drugi ga plinovi prenose, ali ne jednako kao uzduh: po pokusima Tyndallovim prevozi ga vodik mnogo teže nego uzduh.

No opisani pokus Boyle-Hawksbeeov još nam jednu zanimljivu pojavu otkriva. Dok je zvonce u sudu *GG'*, čuje se doduše glas njegov po čitavoj dvorani, no kako se sud digne, glas je zvona mnogo jači. Zašto to? Dok je bilo zvono pokrito, prenosilo se titranje uzdušnih čestica u sudu najprije na tešku staklenu posudu, a tek preko nje na izvanji uzduh: posljedica bijaše, da se je znatno umanjila

jakost zvuka. Izlazi dakle, da se zvučni valovi jako slabe, kad prelaze od lakšega tijela na teže. Tyndall je kod svojih zanimljivih predavanja u „Royal Institution“ na sebi izvodio i ovaj veoma zanimljivi pokus u potvrdu ovomu zaključku. „Glas čovječji postaje“ (o tom će biti kasnije iz bližega govor), „ako se uzduh iz plûće protisne kroz pukotinu u grkljanu (larynx). Kad uzduh prolazi kroz pukotinu, prenosi se na nj titranje „zvučnih opna“ u pukotini i tim postaje glas čovječji. Ako pak plûću napunim vodikom pa kušam govoriti, prenose zvučne opne svoje titranje sada na vodik, koji ide kraj njih, a ovaj ih prenosi na izvanji uzduh. No kod toga prijenosa od redjega plina na gušći jakost glasa neobično oslabi. Taj učinak osupljuje čovjeka. Vi znate jakost i zvon moga glasa. Isprazniti ću sada plûću i napunit ju vodikom usisanim iz ovoga suda. Nastojim da govorim glasno, ali za čudo: glas je moj izgubio svoju snagu i sasvim drukčije zvoni. Vi čujete sada taj šuplji glas, koji već nije ni glas čovječji, nego se čini kao da je s drugoga svijeta. Ja ga drukčije ne znam opisati“.

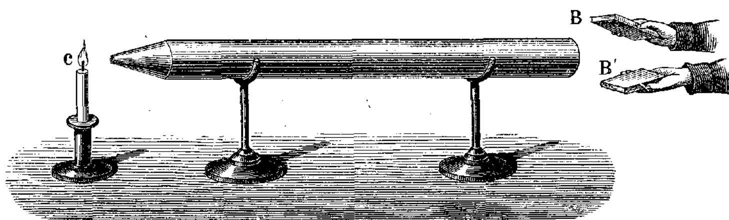
To nam je povod, da se na čas ustavimo kod pitanja, o čem zavisi jakost zvuka i kako se ta jakost umanjuje, kad zvučni val putuje kroz uzduh. Svatko zna, da je prasak pištolja jači od praska šampanske boce, prasak topa jači od praska puške. U svim se tim primjerima rasprostire zvučni val kroz uzduh kao i kod Tyndallova pokusa s balonom. Što je uzrok različnoj jakosti ovih zvukova? Odgovor je gotovo na dlanu. Očito se kod topa prve čestice uzduha na zjalu mnogo žešće i dalje zanjišu, nego kod puške, kod nje jače nego kod pištolja, a tu opet jače, nego kad čep skoči iz šampanjske boce. Jakost zvuka dakle zavisi u prvom redu o žestini i veličini prvoga potresa uzdušnih čestica u izvoru zvuka.

Manje je poznata ova činjenica, koju prvi spominje de Saussure. Prasak istoga pištolja na vrhu Montblanka mnogo je slabiji, nego u dolini Chamounix ispod njega. Tyndall je i sam bio na Montblanku i ovaj pokus ponovno izveo. Navlastito mu je udarilo u oči, da zvuk nije pun i oštar kao dolje: prasak pištolja bio je kao prasak šampanjske boce. To je dokaz, da se jakost zvuka dosta umanjuje u velikoj visini, gdje je uzduh rastanjen. No treba i to spomenuti, da jakost zvuka zavisi samo o gustoći uzduha, u kojem se zvuk rodio, a ne uzduha, u kojem se on čuje. I zato opisuje Tyndall ovaj značajni pokus. „Nabij jednako dva topa, jedan na

*

vrh Montblanka, a drugi u dolini Chamounix. Top ispaljen u težem uzduhu dolje čut će se gore, no drugi top, ispaljen u tanjem uzduhu gore ne će se dolje čuti". Možda će imati koji od naših čitalaca prilike, da sličan pokus izvede na svojim izletima! Bar će to moći utvrditi, da je isti glas noću jači, nego danju.

No svatko zna i to, da ni isti zvuk nije u svim daljinama od svoga izvora jednako jak: što dalje ide od izvora zvučni val, to je slabiji zvuk. Tko je pomno motrio okrugle ili ravne valove na vodi, mogao se i ondje o tom osvjedočiti: što dalje od ishodišta, to su niži i bregovi i dolovi vala; odalje od ishodišta već su tako mali, da ih jedva vidiš, a napokon se posvema gube. Naša slika 22. nastoji da to pokaže za zvučne valove u uzduhu, gdje mjesto bregova i dolova teku kroz uzduh sgusnute i rastanjene vrste, a svaki pak, sastavljen od jedne gušće i tanje vrste, jedan je potpuni zvučni val.



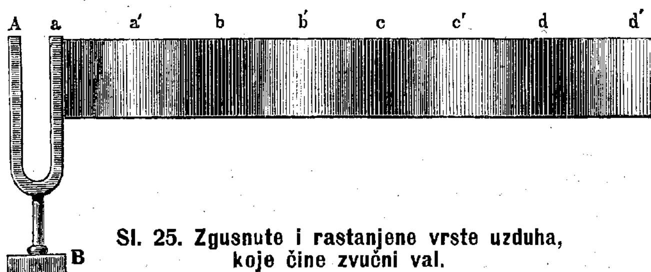
Sl. 24. Rasprostiranje zvuka u cijevima.

Vidi se na slici cio niz sgusnutih i rastanjenih poluvalova, a kako ideš sve dalje od ishodišta zvuka, zgušćivanje je i rastanjivanje sve slabije. Kako svakoj zgusnutoj vrsti uzduha odgovara brijeg vala na vodi, a svakoj rastanjenoj dô, nacrtani su na slici takodjer bregovi i dolovi na dvije zrake, kako im se umanjuju visine na putu sve dalje od ishodišta.

Razumijemo sada, da će napokon u svakom zvučnom valu titranje čestica u fronti, koja je jako daleko otišla od izvora zvuka, biti tako slaba, da ne će uha našega ni podražiti, — mi zvuka više ne čujemo.

Ako hoćemo, da nam zvučan val ne slabi tako brzo, treba da ga pošaljemo kroz cijev, otvorenu na oba kraja, jer se onda val ne može da širi na stranu. U takim će cijevima zvučan val daleko teći gotovo neoslabljen, navlastito, ako je cijev iznutra glatka, da se trijenjem o stijenu jako ne umanjuje snaga titraja. Tyndall je to

pokazivao svojim slušačima pomoću kositrene cijevi dugačke 5 metara. On bi šaptao u cijev tako slabo, da bi ga jedva čuli najbliži slušači, a slušač na drugom kraju cijevi jasno bi ga čuo! Uru bi svoju namjestio na jednome kraju cijevi; osoba na drugome kraju jasno bi čula kucanje njezino, dok ga inače nitko ne bi čuo. Na drugi bi kraj cijevi znao namjestiti goruću svijeću mjesto uha slušača (sl. 24.), a na prvom bi lupao dlanom o dlan. Plamen se svijeće gotovo u istom času umanjio, ali se nije utrnuo. No kad bi lupio knjigom o knjigu *(BB')*, svijeća bi se s mjesta utrnula. U tom se pokusu pokazalo i to, da se zvučni val jako brzo rasprostire kroz uzduh: vrijeme izmedju prvoga potresa uzdušnih čestica na jednom kraju 5 metara duge cijevi i utrnuća svijeće na drugom kraju tako je kratko, da ga slušači ni ne primijete! Mogao bi tko pomisliti, da su čestice uzduha, potresene udarcem knjiga, tako brzo poletjele kroz cijev i izišavši na drugom



Sl. 25. Zgusnute i rastanjene vrste uzduha, koje čine zvučni val.

kraju utrnule svijeću, kao da mi strujom uzdušnom iz ustiju naših utrnemo svijeću. Da to nije istina, nego da i ovdje imamo posla tek s malim titrajima uzdušnih čestica, pokazao je Tyndall svojim slušačima veoma jednostavnim pokusom. Napunio bi cijev s jednoga kraja dimom gorućega papira, pak bi onda lupio knjigom o knjigu: ni trunak dima nije izišao na drugome kraju cijevi. Što se u cijevi zbiva, kad kroz njih idu fronte zvučnih valova u uzduhu, lijepo pokazuje slika 25. Prvi potres uzdušnih čestica na prednjem kraju cijevi isvodi desni zub akustične vilice *ab* svojim titrajem iz položaja *a''* preko *a* i *a'* natrag u položaj *a''* (jedan potpuni titraj zuba). Za to se vrijeme u uzduhu načini poradi titranja prvih potresenih uzdušnih čestica tamo i amo *poluval zgusnuti* i *poluval rastanjeni;* oba zajedno čine jedan potpuni zvučni val, koji putuje od jednoga kraja cijevi k drugomu.

Ovo svojstvo cilindričkih cijevi i kanala razjašnjuje neke osobite zvučne pojave u dvoranama i hodnicima gdjekojih zgrada. U njima čine gdjekada kutovi svodova i zidova neku vrstu rigola ili žlijeba, gdje se zvuk osobito lako rasprostire ne gubeći gotovo ništa od svoje snage



Sl. 26. Grotta della Favella ili uho Dionizovo.

u izvoru. U Parizu su na pr. dvije take dvorane: jedna u „Conservatoire des arts et métiers", a druga šesterouglasta u astronomijskom opservatoriju. U jednoj i drugoj čine kutovi uzduž svodova u neku ruku rigole, koji izvrsno vode zvuk, a da ne slabi gotovo ništa; pa

tako se mogu dvije osobe zabavljati iz jednoga kuta u drugi sasma tihim glasom, tako da slušači namješteni izmedju njih ništa ne mogu da uhvate od njihova razgovora. Spominju se s te strane još galerija u Glocesteru, stôna crkva u Girgentiju na Siciliji i glasovita spilja u Sirakuzi, danas poznata uz ime *„Grotta della Favella“*, a u starom vijeku uz ime *„Uho Dionizovo“* (sl. 26.). Priča se, da je tiranin sirakuški dao načiniti skrovite hodnike izmedju svoje palače i spilja, u kojima je zatvorene držao svoje zločince, kako bi čuo i najtiše njihove razgovore, koristeći se osobitim ovim svojstvom.

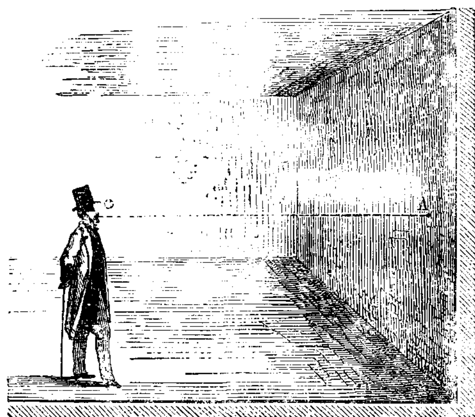
3.

Ako izvanja pojava zvuka zaista nije drugo, nego uzdužno (longitudinalno), valovito gibanje uzduha — a o tom su nas dojakošnji pokusi jamačno do kraja uvjerili — e onda nema druge, nego već unaprijed zaključiti, da se i kod ovih nevidljivih zvučnih valova u uzduhu, za koje znamo i to, da se vanredno brzo u njem rasprostiru, ponavljaju svi oni pojavi, što ih spoznasmo na našem prvom izletu u područje vidljivih valova na vodi: i zvučni valovi mora da se odbijaju, kad im fronte udaraju o kaki duvar, koji ih ne propušta, oni mora da se lome, kad prelaze koso u tvar različne gustoće, oni mora da se ukrštavaju (interferiraju) po istim zakonima, kao vodeni valovi, kad se sastaju na pučini. Upirući se o našu spoznaju, da u zvuku duševnim okom sada gledamo val za valom, svaki sastavljen od zgusnute i rastanjene vrste, kako teku u uzdušnom oceanu preko svih zapreka sve dalje i dalje na sve strane prostora, mogli bismo gotovo biti proroci, pa unaprijed reći, kako se mora zvuk odbijati, kako se mora lomiti i kako se mora ukrštavati. Pa tako je i bilo — ne jedan put — baš u području nevidljivih titranja i valova, koji se mnogovrsni svagda šire oko nas. No misao, da bismo ipak možda mogli biti krivi proroci, ne da nam, da udarimo ovdje tim putem, nego nas upućuje na put pokusa i iskustva. Ako nam on potvrdi, što smo po analogiji s vodenim valovima slutili, e onda smo još više uvjereni, da nam je mišljenje o biću zvuka bilo ispravno.

Pitamo se prema tomu, postoji li kod zvučnih valova pojav odbijanja, i ako postoji, kako nam se očituje? Na drugo je pitanje odgovor veoma lak: ako se zvučni valovi zaista odbijaju od kakova duvara, očitovat će nam se samo tim, da djelujući na naš osjetljivi organ sluha, izvode u njem osjećaj novoga zvuka; uho naše to je čarobnik, koji nam jedini odaje zvučne valove u uzduhu! A da

zaista postoji pojav odbijanja zvučnih valova, to zna cio svijet, jer se o tom svakidanjim pokusima uvjerio. Jeka su i pazvuk opće poznati pojavi, koji se izvode iz odbijanja zvučnih valova od bilo koje zapreke (na pr. zida). Da iz bližega pogledamo i te pojave!

Nadješ li se u ovelikoj praznoj sobi, gdje navlastito na zidovima ništa ne visi, što bi utišavalo zvuk, čut ćeš svoj glas ujačan, a topot koraka odjekuje velikom snagom, te si u prvi čas nešto osupnut s te neobične jakosti poznatih ti zvukova. U još većoj dvorani čuješ svoj govor nekako otegnut, kao da je dvostruk, pa poradi toga postaje nejasan i teško ga razumiješ onako čisto, kako si naučan čuti govor iz tako male daljine. Ovo pojačavanje i otezanje glasa posljedica je odbijanja zvučnih valova od raznih zidova i krivih svodova u tim dvoranama. Otezanju glasa dajemo posebno ime „pazvuk“, a ojačavanju njegovu ime „resonancija“.



Sl. 27. Odbijanje zvuka; resonancija.

Bude li daljina govornika od zida veća od 20 metara, čut ćeš posvema čisto po drugi put svaku slovku, koju reče; to je pojav „jednostavne jeke“. Ako se pak negdje svaka slovka čisto ponavlja dva puta, ili više, to je „mnogostruka jeka“. — Treba da iz bližega razmotrimo uzroke ovim različnim pojavima. Makar kako kratko vrijeme trajao zvuk, osjećaj, što ga on izvodi u našemu uhu, po iztraživanjima fiziologa potraje u uhu neko vrijeme, od prilike $^1/_{10}$ sekunde. Kako se pak našlo (o tom će se poslije još govoriti), da zvučni valovi teku uzduhom brzinom od gotovo 340 metara u svakoj sekundi, izlazi, da će svaki zvučni val u onom kratkom vremenu prijeći gotovo 34 metra. Ako je dakle daljina AO (sl. 27.) slušača od zida, koji odbija zvuk, manja nego 17 metara, izuštena će slovka idući do zida i natrag u uho ponovno stići prije, nego je u uhu utrnuo prvi osjet izuštene slovke. Odbijeni se zvuk smiješa u uhu s direktnim; no kako se zvučni val odbija s mnogo strana od točaka

nejednako udaljenih od uha, izaći će iz toga nejasno otegnut zvuk, kojemu dadosmo ime pazvuk; a pojačanju zvuka, koje je svagda uza nj vezano, velimo. da je „resonancija“.

Ako je pak daljina govornika *AO* veća od 17 metara, prošao je već u našem uhu osjet izuštene slovke, kada do njega dodje zvuk te slovke odbijen od zida, i mi ćemo čuti ponovno izuštenu slovku, više ili manje oslabljenu spram izravnoga njezina zvuka. To je pak prava „jeka“. Što je veća daljina *AO*, to će veći biti i broj slovaka ili u opće rastavljenih kratkih zvukova, koji će se ovako ponavljati. Uzmimo na pr. da je daljina *AO* od zida 180 metara i da govornik u jednoj sekundi izgovori četiri slovke na pr. riječ *„odgovori“*. Da zvučni val dodje do zida i natrag treba nešto više nego jednu. sekundu (2 × 180 = 360 m); direktni osjećaj izrečenih slovaka već je medjutim u uhu utrnuo i uho čuje po drugi put sasvim čisto riječ *„odgovori“*. Evo to je jednostavna jeka, ali ujedno mnogoslovčana.

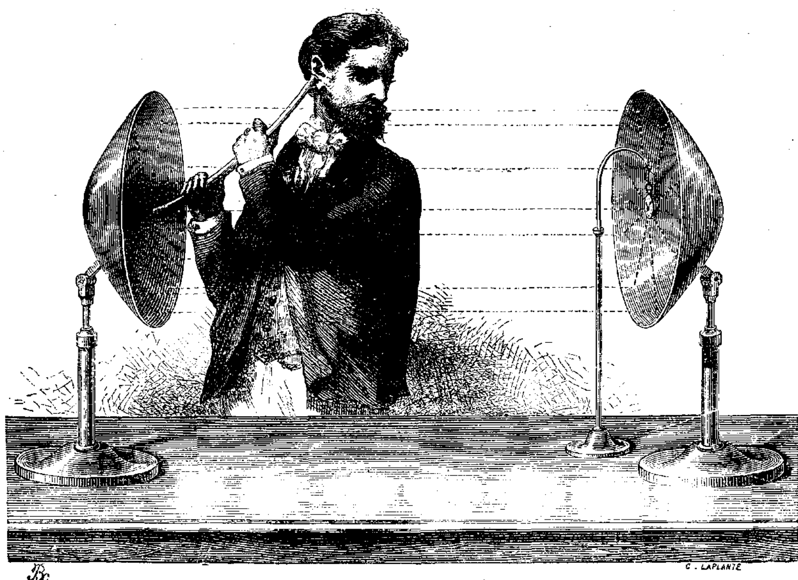
Mnogostruka pak jeka postaje, ako se jedna slovka izgovori izmedju dvije usporedne plohe, koje su dosta daleko od govornika. Zvučni val, odbijen od jedne plohe, dodje do druge, na njoj se po drugi put odbija, onda opet po treći put i tako dalje; čut ćeš dakle istu slovku više puta. No jasno je i to, da će se ovim ponovnim odbijanjem glas sve više slabiti.

Zgrade, velike pećine, velike mase stabala (šume), pa i oblaci su redovno zapreke rasprostiranju zvučnih valova; odbijajući se od njih izvode običnu jeku, ali gdjekada i osobito zanimljive jeke. Da vidimo bar neke, koje je nauka zabilježila. Velik je broj takih jeka zabilježio Sir John Herschel u svojoj raspravi „zvuk“ u djelu „Encyclopaedia Metropolitana“: U parku woodstockskom u Engleskoj ponavlja jeka jednu slovku danju 17 puta a noću 20 puta; još je jače izbilo to svojstvo u jeci kod Ormessona, gradiću u dolini Montmorencyjskoj: noću ponavlja 14 slovaka, a danju samo njih 7; jeka na obalama jezera del Lupo iznad slapova kod Ternija ponavlja 15 puta. Kad je fizik Wheatstone, pripovijeda Tyndall, stao pred gornjim dijelom zida u londonskom koloseju, okrugle zgrade od $43\frac{1}{2}$ metra promjera, opazio je, da se svaka riječ ponavlja mnogo puta. Jednostavan se poklik čuo kao prasak smijeha, a deranje komadića papira kao tuča.

I za mnogostruku jeku zabilježila je povijest lijepih primjera. U grobnici Metelle, žene Krassove, bila je jeka, koja je cio

stih iz Vergilove eneide ponavljala osam puta! Addison spominje jeku, koja je 56 puta ponavljala prasak pištolja. U dvoru u Simonetti u Italiji ponavlja jeka do 40 puta riječ izuštenu izmedju oba usporedna krila zgrade. Blizu Koblenza na Rajni spominje Barthius jeku, koja 17 puta ponavlja istu slovku.

I oblaci odbijaju zvuk, kao i zgrade, pećine i šume. Sva je prilika, da poznato valjanje grmljavine dolazi od ponovnih odbijanja praska strijele od zemlje k oblacima i obrnuto i izmedju oblaka.



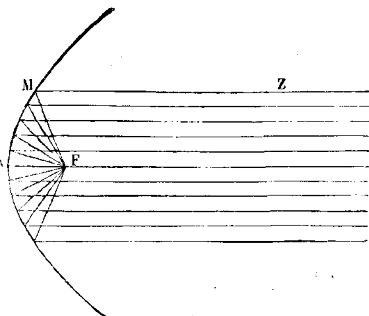
Sl. 28. Potvrda zakona za odbijanje zvuka.

I u hrvatskim zemljama ima po svoj prilici mjestâ s osobitom jekom, ali još nisu pobilježena. Bilo bi dobro, da ih iznese, tko za njih zna.

Mogli bismo nanizati još velik broj ovakih jeka. No do toga nam nije. Sve jeke dokazuju, da kod zvučnih valova zaista postoji pojav odbijanja, kao i kod vodenih. Nama je na umu pitanje, koje nešto dublje zalazi u stvar. Izvedosmo kod valova vodenih dva osnovna zakona, po kojima se ravna svako odbijanje valova, pa nas zanima pitanje: odbijaju li se i zvučni valovi, koji teku uzduhom, po istim onim zakonima? Navlastito nas zanima pitanje, čini li zaista zräka direktnoga vala i zraka odbijenoga vala jednake kute s okomicom u točki upadanja? Možda će se komu činiti zališna

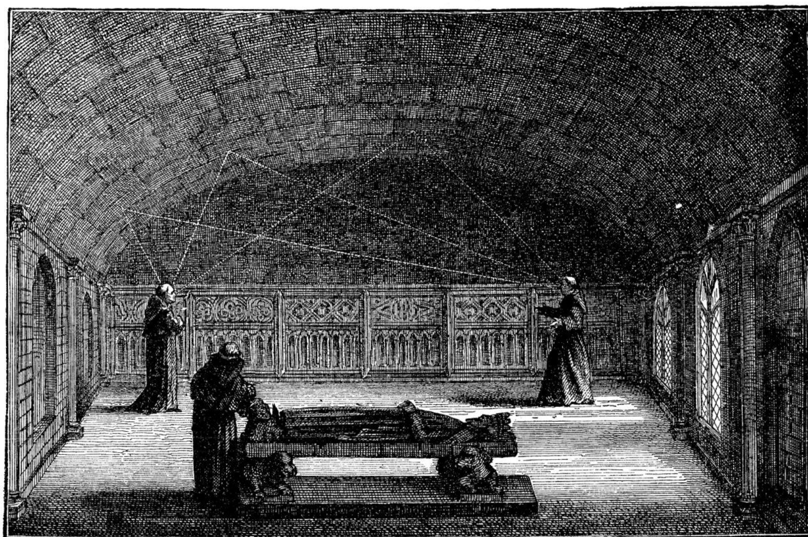
ovaka pitanja na ovome mjestu. Na to odvraćamo, da se **ljepota prirodnih pojava** tek u tome očituje, što možemo **svagda** dokazati, da se iste ruke pojavi svagdje zbivaju po istim zakonima. Direktne i odbijene valove na vodi mogosmo vidjeti i iz gledanja njihova mogosmo izvesti spomenuti zakon o položaju zrake direktnoga i odbijenoga vala. Zvučnih valova ne vidimo nikada tjelesnim svojim okom; da postoje, odaje nam tek uho naše; pa ipak možemo nedvoumno utvrditi, da i za zrake zvučnih valova baš točno vrijedi onaj isti zakon. Kao da nevidljiva ruka ravna njihovo odbijanje, točno odmjerenim putem izbijaju svoje zrake direktni i odbijeni zvučni valovi! Evo kako se možemo o tome uvjeriti.

Na stolu stoje dosta razdaleko dva velika ugnuta, kovna zrcala, kojima su unutrašnje strane dobro izgladjene (sl. 28.). Oblik je tih zrcala „paraboličan", t. j. on se dobije, ako se oko svoje osovine *AF* vrti krivulja, nacrtana u slici 29., koja se zove *parabola.* Ta krivulja ima dosta blizu svome vrhu *A* točku *F*, koja se ponosi osobitim svojstvom: sve zrake, koje izbijaju iz *F* na parabolu, kao na pr. zraka *FM*, odbijaju se od nje usporedno s osovinom *AF*; dakle na pr. pravac *FM* se odbija u smjer *MZ;* jednom riječju: zrake, koje izlaze iz *F* na parabolu, i pravci usporedni s osovinom čine jednake kute s okomicama na parabolu. Kad bismo na pr. u našoj slici nacrtali u *M* okomicu na parabolu, lako bi se svakim kutomjerom osvjedočili, da zrake *FM* i *MZ* s njom čine jednake kute. Obrnuto, ako na parabolu udaraju pravci usporedni s osovinom *AF*, svi se ti pravci odbijaju u točku *F,* koja je poradi toga dobila ime „žarište" parabole (franc. foyer; njem. Brennpunkt). Ako dakle u žarištu takova paraboličnoga zrcala namjestimo džepni sat, koji ide, bit će njegovo kucanje ishodište zvučnim kuglovitim valovima, koji idu i na zrcalo; **zrake** su svih tih direktnih valova pravci, koji udaraju na zrcalo; ako i za odbijanje zvučnih valova vrijedi isti zakon, možemo sada unaprijed pogoditi, što će se dogoditi. Zrake valova odbijenih od zrcala moraju biti pravci usporedni s osovinom, pa



Sl. 29. Parabola i odbijanje zvuka iz žarišta.

kad ove usporedne zrake udare o drugo parabolično zrcalo, moraju se sve odbiti u njegovo žarište. Slušač (sl. 28.) namjesti kraj cijevi utaknute u uho baš u to žarište i — čuje posvema točno kucanje sata, i ako su zrcala i 8 metara razdaleko. No čini mu se svagda, kao da kucanje dolazi iz dubine ovoga drugoga zrcala, pa povodeći se za svojim uhom traži sat u tom zrcalu! Cijev pak utiče slušač u uho u jednu ruku, da izoštri snagu svoga uha, a u drugu ruku, da tijelom svojim ne ustavi zvučne valove, koji teku od prvoga zrcala na drugo.



Sl. 30. Odbijanje zvuka od svodova eliptičnoga oblika.

Uz ime *„elipsa"* poznata je u geometriji krivulja, koja ima dva ovaka žarišta, pa sve zrake, koje izlaze iz jednoga žarišta, odbijaju se od nje u drugo i obrnuto. Svodovi dvorana, koji imaju oblik eliptičan, moraju dakle pokazivati isti pojav kao i dva parabolična zrcala. Muzej starina u Louvru u Parizu ima taku dvoranu (sl. 30.), pa u njoj mogu dvije osobe, ako stoje u žarištima, razgovarati posvema tihim glasom, pa se ne trebaju ni malo bojati, da će ih odati osobe, koje stoje drugdje u dvorani. Na taj su se način gdjekada odale nemile tajne. Sir John Herschel pripovijeda u spomenutoj enciklopediji ovaj primjer: U nekoj stônoj crkvi na Siciliji bila je ispovjedaonica tako namještena, da se je šaptanje onoga, koji se ispovijedao,

od svoda crkve odbijalo u žarište na drugoj strani crkve. Slučajno je neki gospodin to žarište otkrio, pak mu je neko vrijeme bila ugodna zabava slušati izjave odredjene dakako samo za ispovjednika, a znao je gdjekada i prijateljima priuštiti tu zabavu. Jednoga je dana, tako se bar pripovijeda, njegova žena klečala u ispovjedaonici, pak su i on i prijatelji slušali tajne, koje bar jednomu od njih ne bijahu ni malo ugodne!

Neka već ovdje nadje mjesta vanredno velika analogija izmedju zraka zvuka i zraka svjetlosti. Ako na pr. sat u žarištu jednoga našega zrcala naknadiš plamenom svijeće, vidjet ćeš u drugom žarištu plamen i osjetit ćeš tamo svu vrućinu plamena. Ta je potpuna analogija veoma značajna!

4.

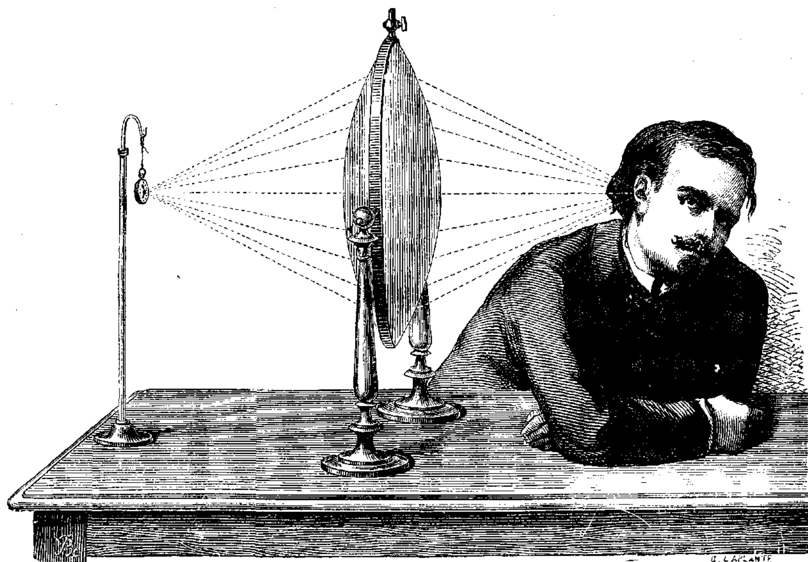
Na valovima vode opazismo još jedan zanimljivi pojav. Kad fronta vala koso prelazi u vrstu različne gustoće, ona promijeni svoj smjer: fronta se lomi. Izraka toga vala, koja je svagda na fronti vala okomita, promijeni takodjer svoj smjer, kako pokazuje slika 17. Rekosmo: valovi se vodeni lome, a mjesto toga smjedosmo takodjer reći, da se zrake tih valova lome. Bismo li mogli za nevidljive zvučne valove dokazati, da se i njihove zrake lome, kod prijelaza iz uzduha u drugu kakvu tvar?

Nije tomu baš davno, što je njemački fizik Sondhauss pojav lomljenja za zrake zvučnih valova nedvoumno utvrdio. Vodila ga je pri tom baš prije spomenuta analogija izmedju zraka svjetlosti i zraka zvuka. Ako iz koje točke padaju na veliku staklenu leću zrake svjetlosti, one se prolazeći kroz leću lome i leća ih sastavlja sve u stožac svijetlih zraka, koje se sastaju u vrhu stošca. Sondhaussova je misao bila, da bi mjesto zrâkâ svjetlosti pustio na taku leću fronte i zrake zvučnih valova, pak da vidi, što će se pokazati. I on je zaista od tankih vrsta kolodija (tvar, od koje se grade oni mali uzdušni baloni, što ih djeca puštaju u uzduh) načinio oveliku leću (sl. 31.) i napunio je plinom težim od uzduha — ugljičnom kiselinom (koje ima na pr. u soda-vodi i u kiselim vodama). Zvučni kugloviti valovi, kojima je izvor ura, udaraju svojim frontama o leću i prolaze kroz posvema tanku kožicu leće u plin veće gustoće, u ugljičnu kiselinu, pak se tu gibaju sporije i poradi toga se lome. Oblik se fronte na drugoj strani tako promijenio lomljenjem, da se zrake slomljena vala sastaju u jednoj točki; uho slušača, namješteno u toj točki, čuje

kucanje ure bolje, nego bilo u kojoj drugoj točki. Očito su dakle zvučni valovi tako promijenili svoj smjer prošavši kroz leću, da teku k jednoj točki, a tim je utvrdjen pojav lomljenja i za zvučne valove; evo nam nove potvrde za ispravnost našega mišljenja, da je zvuk valovito gibanje.

5.

Naša bi razmatranja o izvanjem pojavu zvuka ostala nepotpuna, kad se ne bismo taknuli još jednoga koliko važnoga, toliko zanimljivoga pitanja. Gledajući lijepe okrugle ili ravne valove na vodi, kako



Sl. 31. Lomljenje zvučnih valova.

jedan teče za drugim, mogli smo mjerenjem odrediti, kolikom brzinom teku po vodi. Dva nam rezultata udariše u oči: 1. dok čestice u ishodišta vala učiniše jedan potpuni njihaj ili titraj, val bi dalje otišao za jednu dužinu vala, i 2. Cousinova mjerenja pokazaše za kinesko more (isp. str. 20.), da je dužina jednoga morskoga vala (t. j. daljina od jednoga brijega do drugoga!) izmedju 15 i 30 metara, dakle srednje od prilike 22·5 metra; jedan potpuni titraj morskih čestica traje 2—3 sekunde, dakle srednje 2·5 sekunde; iz toga izlazi, da se na moru valovito gibanje u dvije i pô sekunde, dalje pomakne poprijeko za dvadeset i dva i pô metra ili u

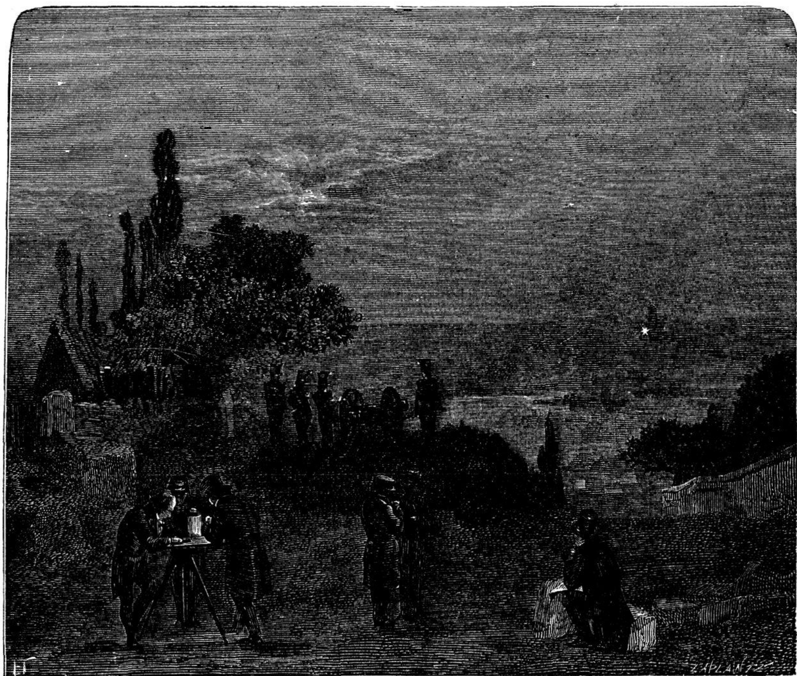
jednoj sekundi za devet metara. Brzina je dakle morskih valova poprijeko 9 metara u svakoj sekundi.

Nema nikakve sumnje, da i fronte naših nevidljivih zvučnih valova teku odredjenom nekom brzinom kroz uzduh. Naši dosadanji pokusi sa zvučnim valovima odadoše tek jedno: brzina rasprostiranja mora da je vrlo velika, a dužina valova mora da je vrlo malena spram dužine jednoga morskoga vala. Poradi toga je dakako i puno teže nego kod vodenih valova riješiti pitanje o brzini rasprostiranja zvučnih valova, to više, što ih ne vidimo. Red je da i ovom mučnom pitanju pogledamo u brk!

Da se zvuk od izvora u uho ne prenese u jedan tren, to zna cio svijet na osnovi svakidanjega iskustva svoga. Zvuk se dakle malo po malo rasprostire kroz uzduh. S kolikom se brzinom rasprostire? Je li brzina zvučnih valova svagda ista, išli valovi kroz uzduh, ili kroz drugu tvar, na pr. ugljičnu kiselinu? Je li napokon u samom uzduhu svagda jednaka, ili se možda mijenja prema temperaturi uzduha, prema tlaku i vlagi njegovoj, a možda i po vjetru? Evo tušto pitanja, koja stvar dosta zamršuju. Pitanje je ovo ipak mnogo zanimalo naučnjake u Engleskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Italiji i Holandiji i oni nisu stali, dok ne izvedoše pouzdane pokuse, iz kojih naučismo odgovore na sva ta pitanja. Naučnjake francuske i holandeske ide glavna zasluga. Mogli bismo ispuniti cijelu knjižicu izvještajima o njihovim veoma zanimljivim i umno rasporedjanim pokusima, kod kojih su umjeli ukloniti sve zapreke ispravnomu posljetku njihovu. Ustavit ćemo se samo kod pokusa god. 1822., što su izvedeni na prijedlog glasovitoga astronoma Laplacea, a izveo ih je Pariski „Bureau des Longitudes“. U naučnoj komisiji bila su 4 člana toga zavoda: Arago, de Prony, Bouvard i Mathieu, a ona si je uzela u pomoć Gay-Lussaca i Aleksandra Humboldta. Osnovna je misao pokusa bila ova: Što točnije se izmjeri daljina dviju točaka u polju, na kojemu se namjeste motritelji. Jedan od njih izvede zvuk, ispalivši na pr. top tako, da se plamen vidi s druge točke. Čas, u koji je drugi vidio plamen, ujedno je i čas, kad je bio potres uzduha u ishodištu zvučnoga vala. Ako ima dobru uru za sekunde, moći će točno zabilježiti čas, kad je vidio plamen i poslije čas, kad je njegovo uho najprije osjetilo zvuk (prasak). Vrijeme izmedju jednoga i drugoga časa, izraženo u sekundama i dijelovima sekunde, kazuje i vrijeme, što ga je zvučni val trebao, da prevali izmjerenu daljinu postaja. Jasno je svakomu, ako se daljina postaja razdijeli brojem sekundi,

izlazi put, što ga je zvučni val prevalio u jednoj sekundi t. j. brzina zvuka.

Spomenuti naučnjaci odabraše za jednu postaju Montlhéry a za drugu Villejuif. Arago, de Prony i Mathieu se smjestiše u Villejuifu; Gay-Lussac, Humboldt i Bouvard u Montlhéryju. Na svakoj postaji stajahu po dva jednaka topa, koji se nabijahu jednakim nabojima (sl. 32.). Svakih 10 minuta ispaljivahu svake večeri po



Sl. 32. Pokusi o brzini zvuka u Villejuifu i Montlhéryju g. 1822.

dvanaest hitaca naizmjence s jedne i druge postaje, a svaka hrpa naučnjaka bilježila bi na savršenu kronometru broj sekundi izmedju plamena i prvoga osjeta zvuka. Složivši sve pokuse našli su, da je zvuk trebao poprijeko 54·6 sekundi, da prevali daljinu izmedju obiju postaja, koja je bila 18612·52 metara. Temperatura je uzduha bila 15·9° C, a vlaga 72%. Vjetra nije bilo gotovo nikakva. Prema gore izvedenom je dakle:

$$\text{Brzina zvuka} = \frac{\text{daljini obiju postaja}}{\text{broj sekundi}},$$

a to daje u ovom nizu pokusa za brzinu rasprostiranja zvučnih valova u uzduhu 340·88 metara u sekundi kod temperature uzduha od 15·9° C.

Je li ta brzina zvuka u uzduhu svagda jednaka? Velik broj ponovljenih pokusa pokazao je, da nije. Uzduh je naime tvar, u nečem slična vodi, u drugom različna od nje.. Čestice su uzduha veoma lako pomične, a to su i čestice vode, kako znamo svi: turi ruku u vodu, pa i ne osjećaš, da si morao s puta micati vodu; to isto vrijedi i za uzduh. No dok se voda izvanjim pritiskom gotovo ništa ne da stlačiti, uzduh je u tom posvema drukčiji. Izvršuješ li na nj tlak (pritisak), on će se dosta jako stisnuti. ali će napokon ipak tlaku držati ravnotežu; no kako tlak popusti, uzduh se s mjesta rastegne na svoj predjašnji obujam, baš kao stisnuto pero od čelika; velimo: uzduh ima „elasticitetu“ ili uzduh je „elastičan“; svaka lopta od gumije lijepo ti pokazuje tu elasticitetu uzduha. Mjera je toj elasticiteti uzduha dakako onaj tlak ili pritisak, kojemu uzduh drži ravnotežu. Na površini je morskoj taj tlak poprijeko jednak tlaku stupca žive, koji je visok 76 cm: to nam kazuje svaki barometar.[1] Na vrhuncu Montblanka pokazuje barometar jedva polovinu toga tlaka, dakle je i elasticiteta uzduha tamo gotovo za polovinu manja, nego na površini morskoj. Elasticiteta uzduha dakle nije u svim vrstama atmosfere jednaka: što se više uspinjemo nad površinu morsku. to je manja elasticiteta uzduha.

Usporedo s tim ide još jedna pojava u našem uzduhu: što je jači tlak na uzduhu, to se uzduh više stisne, to je gušći; a kako tlak popušta, tako se uzduh rasteže, postaje redji. Gustoća je uzduha takodjer nejednaka, idući od površine morske u vis: što više nad površinu morsku, to je manja gustoća uzduha. Očito je pak svakomu, da brzinu zvučnih valova u uzduhu odredjuje baš elasticiteta njegova i gustoća (isp. str. 22.). Kad bismo naime mogli uvećati elasticitetu uzduha, a da mu pri tom gustoća ostane ista, bila bi brzina zvuka veća: zvučni se valovi i u uzduhu rasprostiru to brže, što mu je veća elasticiteta. Baš je obrnuti odnošaj brzine valova spram gustoće uzduha. Da nam je kako elascititetu uzduha ostaviti jednaku, a gustoću njegovu uvećati, brzina bi zvuka bila manja: što je gušći

---

[1] Isporedi o tlaku uzduha i o barometru iz bližega moju knjigu: „Vrieme“. Izd. „Mat. Hrv.“ Zagreb, 1898: str. 113.—122.

uzduh, to se sporije u njem rasprostiru zvučni valovi; što je uzduh redji, to je veća brzina rasprostiranja.

Možemo li te zaključke pokusima ispitati? Možemo! Ako uzduh ugrijemo u zatvorenu sudu, gdje se ne može da rasteže, uvećava se zaista njegova elasticiteta, dok mu gustoća ostaje jednaka. Kroz uzduh ovako ugrijan zvuk zaista ide brže, nego kroz hladan uzduh. Ako pak uzduh grijemo u otvorenu sudu, on se rasteže, njegova se gustoća umanjuje, ali elasticiteta mu ostaje ista, jer je barometrički tlak ostao jednak. Ovaj se drugi način grijanja uzduha zbiva svaki dan na zemlji, kad sunce grije našu atmosferu.

Izvedimo iz ovoga razmatranja zanimljiv zaključak! Ako elasticiteta i gustoća u jednakom omjeru rastu, moraju se njihovi učinci na brzinu zvuka baš uništiti, ako je temperatura uzduha pri tom ostala ista. Zna se na osnovi pokusa Boylea i Mariotta, da u našem uzduhu zaista elasticitata i gustoća, idući odozgo dolje, rastu u jednakom omjeru; poradi toga bi i brzina zvučnih valova bila na najvišim vrhuncima i na površini morskoj sasma jednaka, da nije uzduh tamo gore mnogo hladniji nego dolje. Niža temperatura njegova čini, da je brzina zvuka na visokim bregovima manja nego na površini morskoj. Izvodimo dakle: budući da u našoj atmosferi elasticiteta i gustoća uzduha kod iste temperature u istom omjeru rastu i na brzinu zvuka suprotno djeluju, utjecat će na brzinu zvuka promjena gustoće samo onda, ako s njom usporedo ide i promjena temperature.

Ako se dakle govori o brzini zvuka u uzduhu, treba tomu dodati, za koju temperaturu uzduha ta brzina vrijedi. Na osnovi svih pokusa uzet ćemo, da je brzina zvučnih valova u uzduhu „od temperature 0° C“ jednaka 33240 centimetara ili 332·4 metra u sekundi. Kod svih je nižih temperatura ta brzina manja, a kod viših veća. Njemački je fizik Wertheim odredio brzinu zvuka u uzduhu za različne temperature ovako:

Temperatura uzduha:	Brzina zvuka:
0·5°	332·3 metra
2·1°	333·4 „
8·5°	338·1 „
12·0°	339·4 „
26·6°	347·7 „

Ta tablica pokazuje, da je brzina na 29° C narasla za 15·4 metra (t. j. od 332·3 m. na 347·6 metara), dakle brzina zvuka raste od prilike za 60 centimetara za svaki Celsijev stupanj. Za srednju temperaturu uzduha od 15° C moći ćemo dakle za brzinu zvuka u uzduhu uzeti okrugli broj od 340 metara ili 34000 centimetara u sekundi.

Naše se znanje o zvučnim valovima u uzduhu znatno raširilo. Spoznaja brzine zvučnih valova u uzduhu otvara nam vrata različnim zanimljivim primjenama. Evo ih nekoliko. Svaki bi čitatelj lako mogao sada sastaviti tablicu, iz koje bi s mjesta razabrao, koja brzina zvuka pripada svakomu stupnju temperature na primjer od 20° C do + 50° C. Ovaki su mali računi veoma poučni; preporučamo ih čitateljicama i čitaocima; neka ih se ne boje; moći će ih možda više puta upotrijebiti. Na pr. negdje daleko od nas ispalio lovac pušku i mi smo vidjeli, kako je planula. Od toga časa, odredjena na našoj uri, koja pokazuje sekunde, pak do dolaska praska u uho prošao je neki broj sekundi. Imaš li i termometar u džepu, koji ti kazuje temperaturu uzduha u to doba, izračunat ćeš jednostavnom množidbom prilično točno s pomoću svoje tablice daljinu lovca od tvoga stajališta. Još bi točnije dobio tu daljinu, kad bi izbacio jedan naboj, a lovac zabilježio vrijeme i temperaturu. Putnici, pomorci, vojnici u ratu mogli bi se često okoristiti ovim načinom odredjivanja daljine, samo bi morali sobom imati uru i termometar. Abbadie je na pr. u Etiopiji ponovno upotrijebio ovaj način. Preporučamo ga i mi lovcima i vojnicima, sve ako i nemaju ni ure ni termometra uza se. Ako temperaturu na osnovi iskustva od prilike umiju ocijeniti, a sekunde znadu brojiti 0, 1, 2, 3 . . ., dobit će dosta dobre resultate.

6.

Na koncu još nekoliko riječi o brzini zvuka u drugim plinovima, u tekućinama i čvrstim tjelesima!

Kako u uzduhu, tako postaju zvučni valovi i u svakom drugom plinovitom tijelu, samo ćemo već unaprijed pogoditi, da će brzina, kojom se fronte tih valova u tom plinu rasprostiru, biti drukčija nego u uzduhu. Brzina je zvuka naime zavisna o elasticiteti i o gustoći plina. No uz istu je elasticitetu (= tlak uzduha) na pr. gustoća vodika 14 puta manja od gustoće uzduha, pak će poradi toga i brzina zvuka u vodiku biti mnogo veća od brzine u uzduhu. Nije ovdje mjesto, da opisujemo, kako su fizičari ispitivali brzine zvučnih

valova u drugim plinovima, tek da popunimo znanje naše u tom pitanju, evo tablice iz radnja Dulongovih o brzini zvuka u nekim plinovima.

Brzina zvuka u plinovima kod temperature od 0° C.

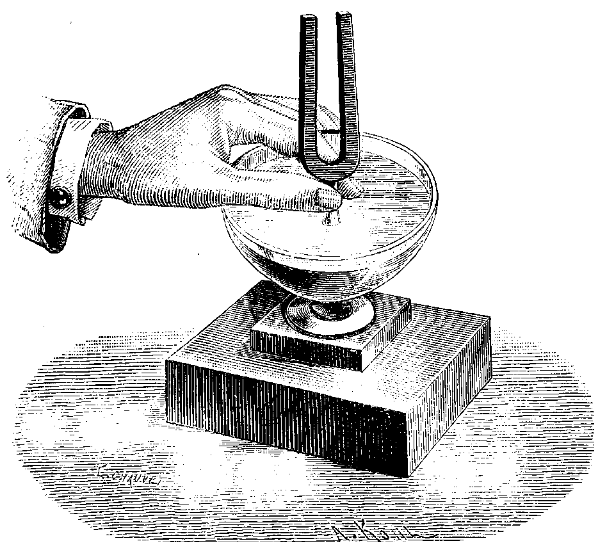
Ime plina:	Brzina:
Uzduh	332·4 metara u sekundi
Kisik	317·3 „ „ „
Vodik	1286·0 „ „ „
Ugljična kiselina	261·6 „ „ „
Ugljikov oksid	337·5 „ „ „
Dušikov oksidul	262·0 „ „ „
Ugljikov vodik (kaljužni plin)	314·2 „ „ „

Kisik je na pr. 16 puta gušći od vodika uz jednaku elasticitetu (t. j. uz jednak izvanji pritisak), pak je brzina zvuka u njem 4 puta manja od brzine zvuka u vodiku (1286 m jednako je gotovo 4 × 217·3 m). Vrijedno je pri tom zapamtiti, da je 4 baš drugi korijen od 16! Neka nadje mjesta i ta bilješka, da je već Isak Newton (1643—1727) iz poznate elasticitete i gustoće uzduha znao izračunati, kolika mora da bude brzina zvuka u uzduhu kod 0° C. Za čudo je dobio broj 279·4 metara u sekundi, dakle različan za $^1/_6$ od broja dobivena pokusima. Uzrok toj nesuglasici izmedju računa i pokusa zadao je puno posla naučnjacima, dok ga napokon nije našao veliki francuski matematik Laplace. Kod postajanja zgusnutih i rastanjenih vrsta u uzduhu mijenja se naime temperatura u tim vrstama, a posljedica je tomu uzvisivanju i umanjivanju temperature, da zvučni val, koji sastoji od jedne zgusnute i jedne rastanjene vrste, u uzduhu ide većom brzinom, nego što bi imao da ide po Newtonovu računu. No kad je Laplace ove promjene temperature uzeo u račun, kako treba, slagao se račun posvema s pokusima!

Da se zvuk ne rasprostire samo u plinovima, nego i u tekućinama, to nam pokazuje već svakidanje iskustvo. Voda prenosi pače zvuk, što se tiče jakosti i brzine, bolje nego uzduh! Evo dokaza. Ronilac čuje pod vodom najmanje šuštanje, na pr. šuštanje šljunka, kad se valja i tare jedan komad o drugi; a poznato je i to svakomu plivaču u moru, da se klopotanje stroja u parobrodu u vodi posvema dobro čuje, kad se brod još i ne vidi. Prenose li u tim slučajevima zvučne valove čestice vode, ili možda čestice uzduha, kojega ima svagda rastopljena u vodi? Opat Nollet pomno je izvukao uzduh iz vode i našao, da nema razlike izmedju vode pune uzduha i vode bez uzduha:

jedna i druga prenosi zvučne valove sasvim jednako. Jednostavan pokus takodjer pokazuje, da se zvuk rasprostire i u tekućinama (sl. 33.). Akustičnu vilicu tareš gudalom: glas je njezin, prenesen samo kroz uzduh do našega uha, veoma slab i jedva ga čuješ. No ako je utakneš u čašu punu vode, on je mnogo jači, po gotovo, ako stoji na šupljoj drvenoj škatulji. Zvučni se potres ovdje prenosi preko vode na staklo i na drvo.

Brzina, kojom se zvuk rasprostire u tekućinama, mnogo je veća od brzine u plinovima. Ona se može pače i proračunati, jer nije teško odrediti ni gustoću ni elasticitetu tekućine. Kod vode su



Sl. 33. Zvuk se rasprostire u tekućini.

se izračunane i pokusima odredjene brzine zvuka posvema podudarale, pak se je tim pokazalo, da promjena temperature, što ju izvodi zvučan val u vodi, gotovo ništa ne utječe na brzinu zvuka u vodi. Laplaceov je račun pokazao, da brzina zvuka u vodi mora da bude $4^1/_2$ puta tolika kao u uzduhu, a u moru 4·7 puta tolika. Odlučne su pokuse o tom izveli francuski fizičari Colladon i Sturm godine 1827. na Ženevskom jezeru. Kako su radili, pokazuju slike 34. i 35. Na prvoj je barki udarao bat o zvono teško 65 kg ispod vode, a na drugoj je slušalo s velikim otvorom ispod vode primalo zvučne valove, koji su se rasprostirali pod vodom i prenosilo ih u uho

opažača, koji je točnim kronometrom odredjivao vrijeme. Čas, kada je bat udario o zvono, obilježio je plamen puščanoga praha, koji se je u tom času zapalio. Daljina je obiju postaja bila 13487 metara, a zvuk je kroz vodu trebao za taj put 9·4 sekundi; to daje za brzinu zvuka u vodi 1435 metara u sekundi kod temperature od 8·1° C. Uzburkana voda nije ništa utjecala na brzinu zvuka. Wertheim je metodom, koju ovdje ne možemo opisivati, odredio brzinu zvuka u različnim tekućinama, kako pokazuje ova tablica.

Brzina zvuka u tekućinama:

Ime tekućine:	Temperatura:	Brzina:
Voda Seine	15° C	1438 metara
Voda Seine	30° „	1530 „
Voda Seine	60° „	1725 „
Morska voda (umjetna)	20° „	1454 „
Rastopina kubinjske soli	18° „	1565 „
„ natrijeva sulfata	20° „	1584 „
„ natrijeva karbonata	22° „	1585 „
„ natrijeva nitrata	21° „	1670 „
„ klorkalcija	23° „	2000 „
Žesta sa 36% alkohola	20° „	1256 „
Alkohol čisti (apsolutni)	23° „	1160 „
Terpentinsko ulje	24° „	1213 „
Sumporni eter	0° „	1160 „

Ako ove brojeve isporedimo s brzinom zvučnih valova u uzduhu, osupnut će nas u prvi mah. Mi naime znademo, da je brzina tih valova to manja, što je veća gustoća, a ovdje vidimo, da je brzina zvuka u vodi bar 470 puta tako gustoj kao uzduh ipak gotovo $4^1/_2$ puta tolika kao u uzduhu. Izgleda dakle, kao da gustoća uvećava brzinu zvuka. Nipošto! Brzina zvuka naime ne zavisi samo o gustoći tijela, nego o omjeru izmedju njegove elasticitete i gustoće, pa kako je elasticiteta vode spram njezine gustoće kud i kamo veća nego li elasticiteta uzduha spram njegove gustoće, idu zvučni valovi brže kroz vodu nego kroz uzduh. Da je na pr. elasticiteta vode jednaka elasticiteti uzduha, bila bi brzina zvuka u vodi ne 4 puta veća, nego tek malen dio od brzine zvuka u uzduhu! Treba svagda na umu imati, kako stoji elasticiteta spram gustoće. Mala gustoća sredstva uz veliku elasticitetu može dati veoma veliku brzinu za rasprostiranje valova. Lijep ćemo primjer tomu kasnije naći kod svjetlosti, a sada treba još nešto reći o brzini zvuka u čvrstim tjelesima.

U njih je omjer izmedju elasticitete i gustoće još veći nego u tekućina, pak bismo mogli unaprijed zaključiti, da će se zvučni valovi u njima još brže rasprostirati nego u tekućinama, — ako se u opće rasprostiru kroz čvrsta tjelesa. Najprije treba dakle tu ispitati, rasprostire li se zvuk kroz čvrsta tjelesa. Naš pokus sa zvoncem u recipijentu (str. 50.) riješio je već to pitanje: vidjesmo, da zvučni valovi prelaze na staklo, da ih ono prenosi, doduše jako



Sl. 34. Mjerenje brzine zvuka u vodi.

oslabljene, i na izvanji uzduh, pa tako čusmo glas zvonca i kroz staklo. Pa i pokus s akustičnom vilicom (str. 69.) nam to potvrdjuje. A tko napokon ne zna, kako sin pustinje često prislanja uho na majku zemlju, ne bi li čuo topot konja, koji mu nosi dugo željkovana prijatelja?

No ispitujući prenošenje zvuka pomoću čvrstoga tijela treba da pomno lučimo zvuk, koji nam dosegne do uha kroz uzduh. Prisloniš li na pr. uho na kraj odugačka drvena štapa, čut ćeš dobro

šuštanje, što ga na drugom kraju štapa izvodi trenje bačenke, ili kraj pera, dok drugi, koji nije uha prislonio na štap, od toga ne čuje ništa, ma bio i bliže. Kuckanje se ure, obješene na jednom kraju dugačkoga kovnoga štapa, razbira sasvim točno na drugom kraju, dok mnogo bliže osobe kroz uzduh ne čuju ništa. Tyndall je ponovio zanimljivi pokus Wheatstoneov, kojim je on priredio slušačima u drugom katu kuće slušanje koncerta, koji se izvodio u prizemlju, ili u podrumu. Prenosio je glasove s pomoću tankih šipki od jelovine. Drvo prenosi dakle izvrsno zvuk. Kolikom brzinom? Evo tablice iz Wertheimovih pokusa za odgovor.

Brzina zvuka u kovinama:

Ime:	Brzina: kod 20°,	kod 100°,	kod 200°.
Olovo	1229 m	1205 m	—
Zlato	1744 „	1724 „	1736 m
Srebro	3285 „	2640 „	2475 „
Bakar	3558 „	3295 „	2950 „
Platina	2668 „	2573 „	2463 „
Željezo	5033 „	5301 „	4687 „
Željezna žica (obična)	4908 „	5101 „	—
Lijevan čelik	4989 „	4925 „	4789 „
Žica od čelika (engleska)	4719 „	5246 „	5000 „
Žica od čelika	4088 „	5017 „	—

Razbiramo dakle u opće, da se brzina zvuka u kovinama umanjuje, kad im temperatura raste, i da je svagda mnogo veća u njima nego u uzduhu. O velikoj nas razlici obiju brzina može lijepo uvjeriti pokus sličan Tyndallovu, koji će svatko moći ponoviti u zgodnim prilikama: „Odaberite najduži horizontalan željezni štap, kaki se upotrebljavaju kod ograde Hyde-parka, pa neka ga udara pomoćnik na jednom kraju, dok je vaše uho veoma daleko od toga kraja prislonjeno o štap. Dva će glasa zasebice udariti o vaše uho; prvi se rasprostro kroz željezo, a drugi kroz uzduh“. I francuski je fizik Biot isti pojav opazio na cijevima Pariskoga vodovoda.

Slušalo liječnika („stetoskop“) nije drugo, nego primjena ovih resultata o rasprostiranju zvuka čvrstim tjelesima i cijevima na istraživanje i pojačavanje onih slabih zvukova, koji se čuju kod radnje različnih organa u ljudskom tijelu navlastito u prsnoj i trbušnoj šupljini. Kako su ti zvukovi u bolestnika drukčiji nego u zdravih ljudi, mogu liječnici s pomoću „stetoskopa“ sasma točno odrediti opseg nepravilnih zvukova, a po tom i veličinu bolesnoga dijela organa

na pr. pluće, ili srca. Stetoskop nije drugo nego drvena cijev duga 26—30 cm, koja se dolje raširuje kao lijevak, a gore ima ravnu pločicu za uho.

7.

Kako daleko seže zvuk u uzduhu? Što pomaže, a što prijeći daljinu, do koje zvuk seže? To su pitanja ne samo zanimljiva nego i praktično važna za brodarstvo i željeznice, gdje se često upotreb-



Sl. 35. Mjerenje brzine zvuka u vodi.

ljavaju zvuci različnih rogova, svirala, zvonova, a i prasak topova kao znaci, da je brod blizu kopnu. Navlastito za guste magle, kad se plamenovi daleko ne vide, ti su znaci veoma važni.

Kako bismo problem izvjesno ograničili, reći ćemo, da je „doseg zvuka“ (la portée du son) granica, kod koje uho srednje osjetljivosti prestaje čuti odredjen zvuk.

Je li ta granica svagda jednaka kod svih različnih zvukova, ili bar kod istoga zvuka? Je li možda zavisna od stanja naše atmosfere i kako?

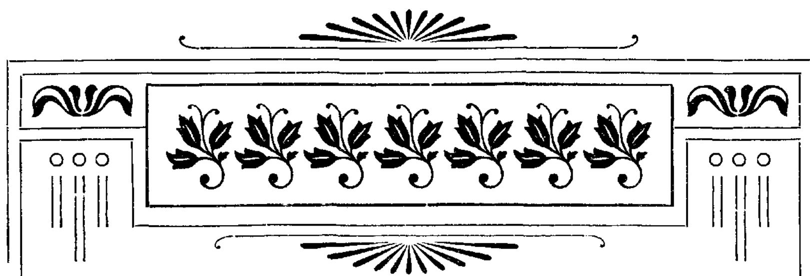
Da zvuk ne seže u veoma velike daljine, to nam kazuje svakidanje iskustvo, a izlazi i iz onoga, što već znademo o širenju valova na vodi i u uzduhu. Valovi postaju sve slabiji, što dalje idu od svoga izvora: čestice uzduha napokon titraju tako slabo, da već ne djeluju na uho, mi zvuka ne osjećamo. Da zvuk to dalje seže, što je bio jači potres uzduha u izvoru zvuka, i za to ne treba posebne potvrde, i to potvrdjuje svakidanje iskustvo. Preostaje dakle samo pitanje, kako utječu na doseg zvuka prilike u našoj atmosferi? Najviše su svjetlosti u to tamno područje unijeli glasoviti pokusi Tyndallovi izvedeni godine 1873. kod Dovera u Engleskoj.

Do tada se općeno uzimalo, da rasprostiranje zvuka pomaže tiho i vedro vrijeme i da je doseg njegov veći, kada umjeren vjetar puše u smjeru, u kojem idu zvučni valovi kroz uzduh. Tyndallovi su pokusi to mišljenje oborili i iznijeli nove neslućene pojave o prolaženju zvučnih valova kroz uzduh. Opširan opis tih pokusa i istraživanja naći će čitatelj u 7. predavanju njegovu o zvuku; ovdje možemo tek najvažnije o njima sabrati. Na poziv društva „Trinity House" išao je Tyndall, da odredi daljinu, do koje nose zvuk najobičniji signali kao na pr. trompete, ili rogovi, svirale na uzduh i na paru, sirena na paru i topovi. Rezultati ovih pokusa bijahu veoma zanimljivi. Doseg je zvuka bio dne 19. svibnja 5·6 kilometara, dne 20. pak 8·8 kilometara; dne 2. lipnja 9·6 kilometara, a dne 3. lipnja više nego 14·4 kilometara; i 10. lipnja bijaše 14·4 kilometara, dne 25. pak umanjio se je na 10·4 kilometara, onda se 26. digao na 14·8 kilometara; dne 1. srpnja digao se čak na 20·4 kilometara, da 2. već pane na 6·4 kilometara. Uzrok ovim veoma nepravilnim kolebanjima nije mogao da bude ni jedan meteorologijski elemenat. Vjetar je doduše utjecao na doseg zvuka, ali nije nikako mogao izvoditi ovakih promjena. Na pr. 25. lipnja duvao je vjetar zgodno, a doseg je zvuka bio samo 10·4 kilometara u okrugu; 26. pak duvao je vjetar proti zvuku, a doseg mu je ipak bio 14·8 kilometara. Zna se i to, da je prozračnost naše atmosfere za zrake svjetlosti veoma različna, pak bi se moglo uzeti, da će zvuk to dalje nositi, što je prozračniji uzduh. Ni toga pokusi ne potvrdiše! Dne 1. srpnja, kad je zvuk sezao 20·4 kilometra daleko u okrug, zastirala je gusta para pećine Forelanda, dok je na druge dane, kad je doseg zvuka bio za polovinu manji, uzduh bio sasvim prozračan. Otkuda dakle ovako razrožni rezultati. Tyndall je mogao dokazati, da je ovim protivurječjima većinom uzrok stanje naše atmosfere, koja je

spram zvuka od prilike u onom odnošaju, u kojem su oblaci spram svjetlosti. Strujama uzduha, koje imaju različne temperature, ili su pak različno nasićene vodenom parom, postaje naša atmosfera u neku ruku mutna za zvučne valove. Taki „akustični oblaci“ svagda lebde ili pak lete po atmosferi. Oni su nevidljivi i nemaju ništa zajedničko s običnim oblacima, s maglom i lunjom. Za zrake svjetlosti najprozračnija atmosfera može biti puna akustičnih oblaka, koji zvuka ne propuštaju: dani s najboljim propuštanjem svjetlosti mogu po ovim nevidljivim akustičnim oblacima biti neobično slaboga propuštanja zvuka. Ne stoji dakle ni malo dotadašnje mišljenje, da postoji sveza izmedju prozračnosti uzduha i dosega zvučnih valova u njem. Kako se svjetlost ponovnim odbijanjem od običnа oblaka napokon posvema uništi, tako se i zvuk može ponovnim odbijanjem od akustičnoga oblaka uništiti. Kako svjetlost može da dodje u oko odbivši se od obična oblaka, tako može i zvuk gdjekada doći u uho ne ravno od svoga izvora, nego odbivši se od nevidljiva akustičnoga oblaka. Na taj način mogu postati neobično jake i dugotrajne „uzdušne jeke“ kod najprozračnijega uzduha. Tyndall je i opažanjem i veoma lijepim pokusima pokazao, da postoje take jeke. One potječu ili od uzdušnih struja različne temperature, ili pak od struja, koje imaju različne množine vodene pare. Nasuprot tomu dokazao je Tyndall, da kiša ne može da ustavlja zvuka toliko, da bi se to opazilo, a tako isto ni snijeg, ni tuča, ni magla. Za maglu je pače baš obrnuto: uzduh pun magle obično je veoma jednoličan (homogen), pa je poradi toga veoma dobar za rasprostiranje zvuka. Nije dakle opravdano dosta rašireno mišljenje, da magla ustavlja zvuk. Da to utvrdi, izvodio je Tyndall pokuse i s umjetnom kišom tučom i snijegom i s umjetnom maglom vanredne gustoće i svi mu pokusi potvrdiše, da magla zvuka ne ustavlja.

Tko pozna Humboldtov „Kosmos“, opazit će, da se ovo tumačenje Tyndallovo u glavnim crtama podudara s Humboldtovim: nejednoličnost uzdušnih vrsta, kroz koje se rasprostiru zvučni valovi, uzrok je različnom dosegu zvuka. No za razjašnjenje nekih osobitih nepravilnosti treba bez sumnje još novih pokusa.





III.

Tonovi i izvori tonova.

Šum i ton (glas). — Kako postaju tonovi? — Jakost, visina i zvon tona. — Najglavniji izvori tonova: napete strune i žice, elastične ploče, svirale. — Muzikalni tonovi. — Organ govora u čovjeka.

1.

Jeste li kada stajali na obali morskoj i gledali, kako se val za valom pravilno valja k obali? Jedan je brijeg kao i drugi, jedan je od drugoga jednako daleko: fronte marširaju k nama kao najsavršeniji redovi vojnika. Malo će biti ljudi, na koje ovaj pojav ne bi veoma ugodno djelovao, svak uživa gledajući ovu pravilnost pojava. Kako je drukčiji dojam morskih valova na čovječju dušu, kada nestane te pravilnosti, kad se nepravilno izmjenjuju jaki i slabi, visoki i niski valovi u jednakim razmacima vremena! Nemir ti se neki hvata duše ovaj te pojav uzrujava, ili barem u tebi budi neugodan osjećaj. I u carstvu zvučnih valova svatko pozna sličan pojav: treba da mu samo spomenem imena „šum“ i „ton“ ili „glas“ (gdjekada vele i „muzikalan ton“). Razliku izmedju ovih dviju vrsta zvuka svatko zna, koliko se tiče osjeta njihova; svatko zna, da je šum neugodan zvuk, dok se glas čovječjega grla ili ton kojega instrumenta tako umiljato bez ikakve opornosti uvlači u dušu i srce. Što je izvanji uzrok toj glatkosti, toj slatkosti tona? To je pitanje, koje nas ovaj čas zanima.

Nema sumnje, da su i šumu i tonu uzrok zvučni neki valovi, koji idući uzduhom udaraju o bubnjić uha; i on zatitra, kao što

titraju čestice uzduha, koje udariše o nj, pa podražuje slušni živac. Svaki zvučni val, koji udari o bubnjić, povod je jednomu potpunomu titraju bubnjića tamo i amo. Znamo već i to, da jakost zvuka zavisi samo o žestini prvobitnoga potresa uzdušnih čestica u izvoru zvuka: što je žešći bio taj potres, to su veći zamasi ili amplitude kod titraja uzdušnih čestica, to su veći i zamasi bubnjića, to je jači čuveni zvuk. Potres bubnjića zna gdjekada biti tako jak, da osjetimo bol, pa nehotice začepimo uho.

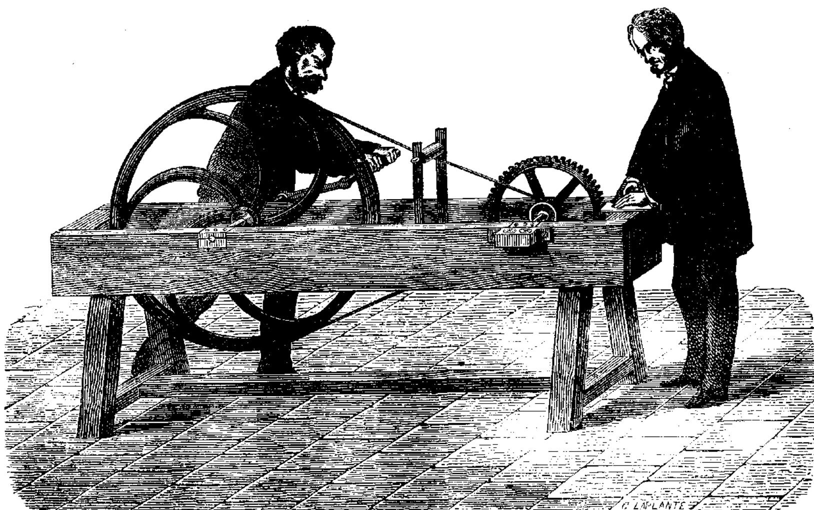
Izmedju uha slušača i izvora šuma ili tona uzduh dakle za stalno nije miran: čestice njegove titraju jače, ili slabije tamo i amo, u uzduhu teku valovi, a udarci se njihovih fronta prenose na uho. Izvanji uzrok toli osjetljivoj razlici izmedju šuma i tona ne može da bude dakle ni u čem drugom, nego u redu, kojim zvučni valovi udaraju o uho.

Uho osjeća ton, ako se udarci o bubnjić posvema pravilno ponavljaju, nauka bi rekla: ako su udarci o bubnjić posvema „periodični“. Da su nam sjetila tako savršena, da možemo vidjeti gibanje uzduha, kad kroza nj ide ugodan glas ženskoga grla, kao što na pr. zaista vidimo valove na vodi, vidjeli bismo, kako zamjernom pravilnošću u njem teče zvučan val za valom, jedan kao drugi i svi jednako razdaleko. Prva fronta potrese bubnjić i on zatitra, ali se ne može odmah umiriti i stati, premda je uho ljudsko tako gradjeno, da se osjet zvuka veoma brzo utiša, on se ipak ne izgubi s mjesta, nego potraje još neko veoma kratko vrijeme. Potraje li toliko, da o bubnjić medjutim udari već drugi val, osjet zvuka ne će ni prestati: zasebični se udarci valova splinu u trajan zvuk. Ako su sada pojedini zvučni valovi nejednake jakosti i ako se ne vraćaju svagda iza istoga vremena, t. j. ako nisu sasvim periodični, uho naše osjeti neugodan šum. Udaraju li pak u uho zvučni valovi jednake jakosti i svagda iza istoga vremena, ali tako brzo jedan iza drugoga, da zvuk ne prestane, e onda uho osjeti umiljat, pravilan i ugodan ton. Mogli bismo veoma zgodno isporediti šum sa svjetlošću plamena na svijeći, koji neprestano titra, a ton s mirnom svjetlošću lampe, koja posvema mirno gori. Prva izvodi neugodan osjet u oku, baš kao šum u uhu, a druga ugodan osjet, kao i ton.

Izvanji je dakle uvjet za postanje svakoga tona samo taj, da jednaki zvučni valovi u uzduhu teku jedan za drugim u sasma jednakim razmacima vremena, no

ti valovi treba da dolaze dosta brzo jedan iza drugoga, kako bi se ton čuo neprestano i jednako.

Izvodimo dakle dalje, da će sve davati ton, što može da načini u uzduhu ovaki pravilan niz dosta brzih zvučnih valova. Povod takim valovima pak može biti samo gibanje kojega tijela tamo i amo (periodično gibanje ili njihanje), kakvo smo na pr. vidjeli na našem njihalu. Kuglica njegova bez sumnje izvodi u uzduhu ovake pravilne valove, no mi ih ipak ne osjećamo kao ton. Zašto to? Ti su valovi daleko prespori, da budu „zvučni valovi". Da postane ton, trebat će nam jamačno tijelo, koje će se isto tako pravilno njihati, kao



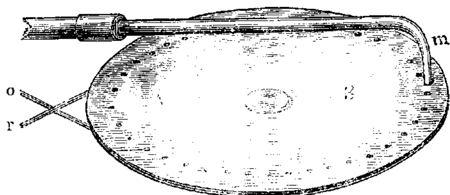
Sl. 36. Savartovo zubato kolo.

njihalo, ali mnogo, mnogo brže, kako bi valovi brzo udarali jedan za drugim o uho. Lijep je primjer tomu kucanje ure. Da nam je kako učiniti, da ura kucne bar 100 puta u sekundi, njezino bi se odjelito kucanje splinulo u jedan ton. Pak da i ptica može svoja krila 100 puta u sekundi zanjihati, čuli bismo ton uz lêt ptice po uzduhu! Kod kolibrija je taj uvjet ispunjen, pa zaista vele, da se „čuje", kad on leti. Kod kukaca zaista njišu krioca veoma brzo i gle, nije rijedak pojav, da pravilan, gdjekada i ugodan, ton čuješ, kad lete kukci. Tyndall pripovijeda na jednome mjestu, kako je u tišini visokih Alpa mogao slušati lijepu harmoniju ovakih tonova! Poznat je primjer i lokomotiva. Kada podje, udarci se čepa pravilno

ponavljaju i čuju odjelito; kad je u punom lêtu, jedva ćeš moći brojiti te udarce; no da je kako brzinu toliko uvećati, da na svaku sekundu dodje bar 50 do 60 takih udaraca, onda bi nam dubok ton sličan tonu orgulja navieštao, da juri k nama lokomotiva!

Bismo li se mogli uvjeriti o tom, da je prava istina sve ovo, što pričasmo o postajanju tona? Ništa lakše nego to!

Odličan francuski fizičar Savart pokazao je to veoma lijepo na svom zubatom kolu (sl. 36.). Ako zupci kola, koje se vrti oko osovine, udaraju o kartu, čuje se svaki udarac napose, dok se kolo vrti polako. Uvećavamo li sve više brzinu vrtnje, njihat će se i karta sve brže, pojedini se udarci njezini ni vide, ni čuju, no mjesto toga se javlja najprije dubok a onda sve viši ton, koji zna postati vanredno visok, kad se kolo jako brzo vrti. Uz put saznajemo i za veoma važnu činjenicu, da visina tona zavisi o brzini titraja njegovih. Savartovo je zubato kolo imalo na pr. 600 zubaca, a mogao ga je do 40 puta okrenuti u jednoj sekundi, dakle je karta u svakoj sekundi zanjihala 24000 puta, a toliko se i valova načinilo u uzduhu, jer znamo već od vodenih valova, da se jedan potpuni val načini, dok čestice u izvoru izvrše jedan titraj. U svakoj sekundi dakle udaralo bi u ovom slučaju o uho slušača 24000 zvučnih valova! Posljedica: jako visok i pravilan ton.



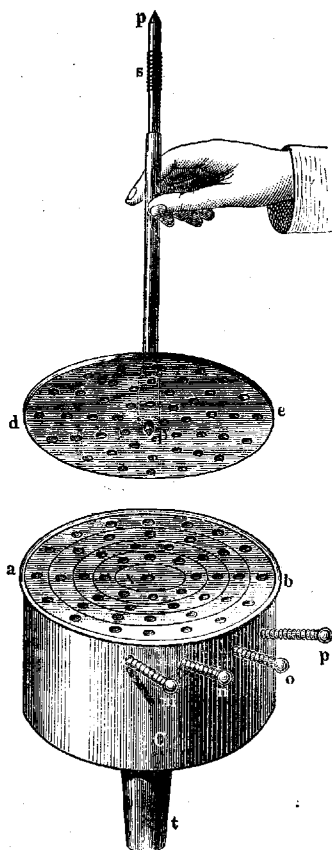
Sl. 37. Sirena po Tyndallu.

U predjašnjem su pokusu zasebični potresi uzduha postali udarcima karte o zupce kola. Drugi način za izvodjenje takih potresa i brojenje njihovo izumio je Englez Robinson, a Tyndall ga je ujednostručio. Ploča od ljepenke AB (sl. 37.), u promjeru 30 cm, ima na opsegu niz rupica u jednakim razmacima. Poseban ju stroj veoma brzo vrti oko osovine. Vidiš, kako se sve rupice kod vrtnje splinu u tamniju kružnicu. Iznad ploče stoji staklena cijev *m*, koja je sastavljena s mijehom. Sada se ploča ne vrti (u slici), cijev je baš iznad jedne rupice. Staneš li na mijeh, ide vjetar iz cijevi *m* kroz rupicu ispod nje. No ako ploču samo malo okreneš, doći će pod cijev *m* neprobušen dio ploče i struja je uzduha prekinuta. Vrtiš li ploču, dolazit će redom rupice pod cijev i svaki će put proći jedan udarac uzduha kroz njih. Ako se ploča brzo vrti, po-

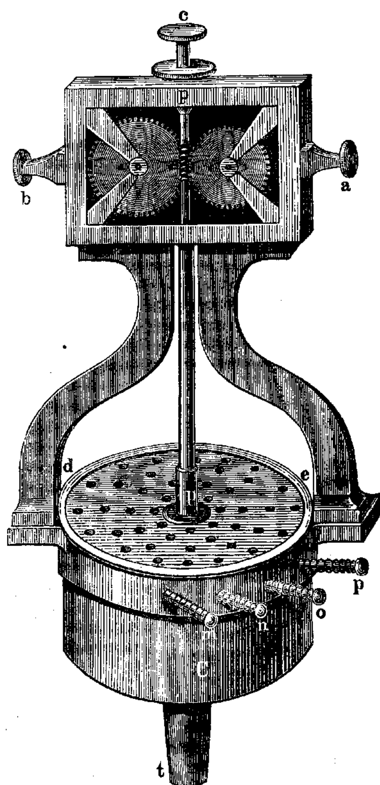
navljat će se ti udarci veoma brzo, uzduh ispod ploče titrat će tolikom brzinom i žestinom, da će se ti „uzdušni udarci“ sastaviti u trajan ton, koji se dobro čuje u čitavoj sobi. Kako je postao? Uzdušni se udarci očito jako brzo ponavljaju, svi su jednake jakosti, jer je vjetar iz mijeha uvijek iste snage, a ponavljaju se svagda iza istoga vremena, jer su rupice jednako razdaleko. U jednu riječ: uzduh se ispod ploče giba periodično, a posljedak je: trajan, umiljat, ali nešto slab ton. Kad bismo mjesto jedne namjestili dvije cjevčice, tako da bude druga iznad susjedne rupice, dobili bismo udarac uzduha kroz obje cijevi u isti mah: ton postaje jači. Da vjetar puštamo kroz 10 takih cijevi, razmještenih po ploči iznad rupica, dobili bismo još jači ton, jer bi u isti mah izašlo 10 udaraca uzduha, koji se slože u jedan jaki udarac, a čas kasnije bi bili svi prekinuti. No još nam se jedan veoma zanimljivi pojav pokazuje kod ovoga pokusa: okrećeš li ploču brzo, ton je visok; usporiš li vrtnju, ton je nizak; visina tona zavisi dakle i opet samo o broju potresa uzdušnih, a kako svaki potres izvodi jedan val u uzduhu, koji poznatom brzinom zvučnih valova teče po uzduhu, mogli bismo takodjer reći, da visina tona zavisi o broju valova, koji u svakoj sekundi udare o uho. Mijenjajući brzinu vrtnje, možeš dakle ovom pločom izvoditi veoma različne tonove, po gotovo, ako mjesto jednoga uzmeš više redova rupica, ali u svakom redu drukčiji broj njih. Otuda i ime toj ploči: ona se zove „sirena“, podsjećajući nas tijem imenom Homerovih dražesnih dviju djevica, koje su izmedju otoka Kirke i otoka Skile živjele na jednom školju na livadi obrasloj cvijećem, a oko njih sva sila bijelih ljudskih kostiju. Krasnim bi svojim pijevom začarale prolazeće brodare i primamile na školj, da ih onda — ubiju. Kad je Odisej onuda prolazio, zalijepio je uši svojim ljudima voskom, a sebe je privezao za jarbol, pa su tako sretno umakli sigurnoj smrti. Sirene se baciše u more, jer im je bilo sudjeno, da živu samo dotle, dok ne prodje netko nezačaran njihovim umiljatim glasom.

Tonovi naše sirene nemaju doduše toga začarnoga svojstva, no i njezini tonovi znaju dosta zaokupiti — mnogoga prijatelja prirode, a navlastito prijatelja njezinoga područja o nevidljivim zvučnim valovima. I nas će još za čas zaokupiti u nešto savršenijem obliku, koji joj dadoše Cagniard la Tour, Dove i Helmholtz. Kad bismo naime na našoj sireni mogli brojiti, koliko se puta ploča AB okrenula u jednoj sekundi, ili u jednoj minuti, mogli

bismo po broju rupica na ploči odrediti, koliko se puta potresao uzduh u jednoj sekundi kod tona, koji smo slušali na sireni. To se brojenje može doduše približno izvesti na našoj sireni, no uspjeh bi bio suviše netočan za naše svrhe. Mjesto nje upotrijebit ćemo mnogo savršeniju spravu po istom načelu, koja ne treba nikakva



Sl. 38. Doveova sirena.



Sl. 39. Doveova sirena.

stroja za okretanje ploče i osim toga sama bilježi sasvim točno broj svojih okreta; to je Doveova sirena, koju pokazuju slike 38. i 39. U prvoj je rastavljena, kako bi se vidjeli glavni dijelovi njezini. Cijev od mjedi *t* ide u mjeden valjak *C,* koji gore nosi mjedenu ploču *ab;* na njoj su 4 reda sa 8, 10, 12 i 14 rupica. Puše li vjetar u valjak *C,* izlazi uzduh na ove rupice u stalnoj struji.

Treba da te stalne struje uzduha pretvorimo u isprekidane udarce (impulze) uzdušne. To izvršuje mjedena ploča *de*, u kojoj vidimo takodjer 4 reda s istim brojevima rupica i jednakim razmještajem od središta, kao kod ploče *ab*. Kroz središte točke *de* ide željezna osovina *pp'*, pa kad se ova namjesti na *ab*, može se ploča *de* vrtjeti iznad poklopca valjka *C*. Slika 39. pokazuje sirenu sastavljenu. Vrtimo li polako ploču *de*, možemo lako postići, da se rupice gornje ploče podudaraju s donjima, ili da se ne podudaraju. Kako se ploča vrti, dolaze naizmjence njezine rupice nad rupice valjka C, ili pak na mjesta izmedju njih. Ako pak u valjak C ulazi vjetar i ujedno se ploča *de* vrti, postigli smo našu svrhu: pretvorili smo stalnu uzdušnu struju u isprekidane udarce uzdušne (u uzdušne „impulze"). Sirena je tako načinjena, da se ploča *de* sâma počne vrtjeti od uzdušne struje, koju treba da prekida. U tu su svrhu rupice u poklopcu cilindra *C* koso vrtane, a isto tako i rupice ploče *de*, ali one koso na suprotnu stranu. Uzduh mora dakle da izlazi iz valjka u kosim strujama, koje udaraju o ploču *de*, pak ju zavrte. Iz nje izlaze sada isprekidani uzdušni kratki udarci, koji u uzduhu oko sirene izvode zvučne valove. Kako bi se mogli ti udarci točno brojiti, urezan je na gornjem kraju osovine *pp'* šaraf *s*, koji hvata u dva zubata kola. Kad se vrti ploča *de*, okreću se i zubata kolesa. Na drugoj su strani kolesâ namještena kazala, koja na razdijeljenu krugu broje okrete zubatih kolesa, kada se zupci pritiskom na *a* i *b* utisnu u šaraf. Mogu dakle po volji zupce kolesa uklopiti u šaraf, ili pak iz njega isklopiti. Napokon vidimo još 4 štapčića *m, n, o, p* na valjku. Njihovom pomoću mogu jednostavnim pritiskom otvoriti pojedine redove rupica: kad pritisnem *m*, otvara se jedan red, kad pritisnem *n* drugi itd.; kad pritisnem sva 4 otvaraju se uzdušnoj struji sva 4 reda. Pustimo sada našu sirenu da pjeva!

Pritisnimo stapić *m*; tim se otvara izvanji red rupica. Gazimo il mijeh, udara uzdušna struja koso o ploču *de* i ta se počinje vrtjeti. Mi čujemo udarce uzdušne, koji dolaze tako sporo jedan iza drugoga, da ih možemo brojiti; no kako se ploča *de* sve brže vrti, dolaze i zasebični udarci sve brže jedan za drugim i iza kratkoga ih vremena već ne čujemo zasepce, nego mjesto njih veoma dubok, ali čist — muzikalan ton. Kako brzina vrtnje raste, postaje i ton sve viši, a ako uzduh iz mijeha utiskuješ sve većom snagom, zna postati tako visok, da ti vrijedja uho. Imamo ponovnu potvrdu, da visina tona zavisi o broju titraja. Ako na rub ploče *de*

izvršuješ kaki tlak, smjesta će ton postati niži, jer je broj okreta ploče u svakoj sekundi manji, pa i čestice uzduha manje puta u sekundi zatitraju. Ako tlak potraje, bit će ton sve niži i napokon ćeš čuti pojedine isprekidane udarce uzduha, kao na početku pokusa. Kad bi pak mijeh bio dosta jak, a trenje na osovini sirene nikakvo, mogli bismo joj tonove sve dalje u vis tjerati, dok ih napokon ne bismo već mogli ni čuti. No to ne bi nipošto bio dokaz, da sada u uzduhu nema titraja i valova. Baš je obrnuto: udarci se uzduha poradi veoma brze vrtnje ploče *de* ponavljaju tako brzo, da je uho naše nesposobno tolik broj titraja osjetiti — kao ton. Izbija dakle nova, veoma zanimljiva činjenica, da je naše uho — sjetilo sluha — od prirode tako gradjeno, da samo do neke granice osjeća titranje uzduha kao — zvuk. Ako broj udaraca, a po tom i broj valova, prijedje tu granicu, uho ih više ne može primati, — ono ih ne čuje kao zvuk!

Na dlanu je sada za svakoga, kako se pomoću ovoga zanimljivoga aparata može točno brojiti, koliko se puta uzduh u svakoj sekundi mora potresti, da uho čuje ton bilo koje visine. Kad ton dosegne svoju visinu, uklopiš uru sirene u gibanje osovine i prebrojiš na njezinim kazalima broj okreta ploče na pr. u jednoj minuti, isklopivši uru točno nakon te minute. Recimo, da se je okrenula 1440 puta. Uzmimo, da je otvoren bio red sa 16 rupica. U svakom se okretu uzduh potresao 16 puta, dakle je postalo i 16 valova u uzduhu. Prema tomu je uzduh u jednoj minuti zatitrao 1440 puta 16 = 23040 puta. Na jednu sekundu ih dolazi 23040 : 60 = 384.

No pomoću sirene možeš odrediti i broj titraja u tonu iz bilo kojega drugoga izvora, na pr. napete strune, svirale na orguljama, roga, pa i čovječjega glasa. Svatko naime poznaje dobro razliku izmedju „visoka“ i „niska“ ili „duboka“ tona, sve ako oni i potječu od različnih izvora. Dva tona iste visine zovu se u muzici „unisono“. Unisono raspoznavaju u opće i najmanje uvježbane uši, pak će sasma točno reći, koji je viši od dva tona bliska unisonu. Želiš li dakle ispitati broj titraja kojega tona, na pr. akustične vilice, a ti ćeš gudalom izvesti ton vilice i usporedo mijehom ton sirene. Oba tona zvuče zajedno i lako ćeš prepoznati, da je u početku pokusa ton vilice mnogo viši. No ton se sirene sveudilj povisuje, naskoro ćeš čuti muzicima dobro poznato „treptanje“ tona, koje mu kazuje, da su tonovi blizu unisonu. Treptaji postaju sve sporiji i napokon prestanu, a oba se tona stope kao u jedan zvek: tonovi su unisono. Sada uklopiš uru

*

sirene i brojiš, kao prije, broj titraja sirenina tona, koji se u visini svojoj posvema podudara s tonom vilice. Dobili bismo na pr. prije spomenuti broj titraja 384 u svakoj sekundi. To znači, da su se zubi te akustične vilice u sekundi zanjihali 384 puta, a kako se u uzduhu svaki put načini jedan potpuni val, dok čestice u izvoru zvuka izvrše jedan titraj, možemo dalje reći, da se je načinilo u tom vremenu 384 valova, koji poznatom nam brzinom zvuka jedan za drugim marširaju kroz uzduh, baš kao pravilni valovi na vodi. Mi tih valova niti vidimo, niti ih inače osjećamo našim tijelom, tek nam uho odaje, da zaista teku, time, što potresaju bubnjić našega uha i tako izvode osjet tona. Fronte su tih valova kugle, a svaki je sastavljen od zgusnute i rastanjene vrste. Daljine su od jedne zgusnute vrste do druge sve medju sobom jednake, i toj daljini dadosmo već prije ime „dužina vala“.

Bismo li se sada smjeli otisnuti na dalje pitanje: a kolika je dužina takvoga nevidljivoga zvučnoga vala?

Na vodi je bilo veoma lako odrediti daljinu jednoga brijega od drugoga. Mjerenje je na pr. morskih valova pokazalo, da je ta „dužina vala“ poprijeko oko 22·5 metara, a jedan njihaj vodenih čestica traje poprijeko 2·5 sekunde. Jesmo li znanjem dosta jaki, da i kod zvučnih valova, što ih izvodi u uzduhu naša vilica, odredimo koliko je metara od jedne zgusnute vrste do druge, ili, da rečemo drukčije, kolika je dužina vala kod tona naše vilice? Godit će bez sumnje svakomu, kad sazna, da smo zaista toliko jaki. Fronta prvoga zvučnoga vala izvedena našom vilicom otići će u jednoj sekundi kroz uzduh topao 15° C 338·6 metara daleko od svoga izvora (isp. str. 64). No za njim teku brzo fronte drugih takih valova, njih 384 na broju u sekundi. U uzduhu izmedju izvora tona i uha namještena 338·6 metara daleko od izvora načinilo se je u toj sekundi 384 zvučnih valova; dakle je dužina jednoga tahvoga vala 338·6 : 384 = 0·9 metara (gotovo toliko).

Kad bismo uzeli još druge tri akustične vilice, koje izvršuju u sekundi po 256, 320, i 512 titraja, dobili bismo i tonove drukčijih visina; no i zvučni bi valovi tih tonova imali drukčije dužine. Dijeljenje kao prije dalo bi brojeve 1·3 metara, 1·07 metara i 0·65 metara. Dakle: što je viši koji ton, to su kraći zvučni njegovi valovi. S pomoću sirene možemo prebrojiti i broj titraja u glasovima muškoga i ženskoga grla i kad pjeva, i kad govori, a po tom možemo točno reći, kako su dugački zvučni valovi, što ih ti

glasovi izvode u uzduhu. Muško grlo izvodi u *govoru* zvučne valove dugačke 2·4—3·7 metara, a žensko valove dugačke 0·6—1·2 metara.

Zvučni su valovi u *uzduhu* dakle puno kraći od vodenih.

Pamtimo dakle za naša dalja razmatranja u području tonova: *Svakomu tonu, koji ti udari u uho, pripada odredjen broj titraja u sekundi i stalna dužina zvučnoga vala, koju ćeš lako odrediti, ako brzinu zvuka razdijeliš na broj titraja u sekundi.*

Otvorio nam se je nov vidik u carstvu tonova. Dopustite, da se još časak kod njega zabavimo. Svaki naš zvučni val, kojemu evo odredismo i dužinu, sastoji od zgusnute i rastanjene vrste. Jedna i druga maršira u uzduhu jednoliko od izvora tona na sve strane. Fronte su dakle tih valova kugle, koje sveudilj rastu, i gdjegod one udare o kakvo uho, osjetit će ono ton i čovjek će se nehotice obrnuti tražeći izvor tona u smjeru okomitu na fronti valova. Svaki potpuni zvučni val savije bubnjić uha najprije unutra i onda van: on od svakoga vala izvrši po jedan titraj. Dok taki zvučan val sav prijedje preko koje čestice u uzduhu, ona izvrši *jedan potpuni titraj* tamo i amo. U prvom je času potjera nešto naprijed k zgušćivanju uzduha, a u drugom podje natrag, da izvede rastanjenje uzduha. Koliko traje taki titraj čestice kod zvučnoga vala?

Uzmimo, da ton u uzduhu izvodi zvučne valove dugačke 2·4 metra i da je brzina rasprostiranja njihova kod zadane temperature (15° C) 337·6 metra u sekundi. Ako razdijeliš dužinu vala na brzinu rasprostiranja, dobio si odmah i vrijeme, što je prošlo, dok se načinio *jedan* val, a to je dabome i trajanje jednoga potpunoga titraja; u našem primjeru traje titraj svake čestice samo 2·4 : 338·6 = $^1/_{140}$ sekunde (u okruglom broju). I to je vrijedno upamtiti: Trajanje jednoga titraja čestica u svakomu zvučnom valu možeš lako odrediti na dva načina: Ako znaš *broj* titraja u *jednoj* sekundi, onda ćeš tu 1 sekundu razdijeliti na broj titraja; ako pak znaš *dužinu* valova, naći ćeš opet isto trajanje jednoga titraja, ako razdijeliš *dužinu* vala na *brzinu* njegova rasprostiranja, dakle:

$$\text{trajanje jednoga titraja} = \frac{1}{\text{broj titraja u sekundi}} = \frac{\text{dužina vala}}{\text{brzinu rasprotiranja}}.$$

Dok je elasticiteta i gustoća uzduha svagdje jednaka, pripada istoj visini tona svagdje i jednaka dužina zvučnoga vala. No kako bi se promijenila ili elasticiteta, ili gustoća uzduha na nekome mjestu, promijenila bi se smjesta i dužina zvučnoga vala za isti ton. Kad

bi na pr. zvučni valovi akustične vilice morali prelaziti iz hladnoga uzduha u topliji, dužina bi valova postala veća, ali ton bi ipak ostao iste visine, jer se broj valova, koji udare o naše uho u sekundi, tijem nije ništa promijenio: u toplijem uzduhu zvuk brže ide kroz uzduh. U atmosferi vodika, kojemu je gustoća mnogo manja, izveli bi zvučni valovi dugački 2·4 metra mnogo viši ton, nego u uzduhu. Uzrok je lako pogoditi: poradi mnogo veće brzine rasprostiranja u rijetku vodiku udaralo bi o naše uho u svakoj sekundi gotovo 4 puta toliko zvučnih valova dugačkih 2·4 metra.

Uočimo sada još jednoč cjelokupnu sliku, koju sada gledamo duševnim svojim okom! U velikoj smo dvorani; u njoj je potpuna tišina, dakle je i uzduh u njoj miran. Najednoč usred dvorane zazveči ton sirene, ili akustične vilice, koji u sekundi izvršuje na pr. 384 titraja. Svako ga uho, ma gdje bilo u dvorani, smjesta čuje. Što se je dogodilo? U uzduhu dvorane potekoše od izvora tona jedan za drugim zvučni valovi na sve strane velikom brzinom od 338·6 metara. U tren se je oka sva masa uzduha u dvorani uskolebala i u njoj se izmjenjuju neprestano zgusnute i rastanjene vrste, a čestice uzduha svagdje titraju. Fronte valova marširaju 90 centimetara daleko jedna za drugom i potresuju bubnjić u svakoga slušača po 384 puta u svakoj sekundi; svaki titraj traje samo $^1/_{384}$ sekunde, a i svaka čestica uzduha u čitavoj dvorani treba za svoj titraj toliko vremena. Sav se je uzduh uskomešao, a sve se to dogodilo u vremenu, koje možda nije ni jedna tisućina sekunde! Uzmite još k tomu, da mi od svega toga dosta zamršenoga komešanja a ma baš ništa ne vidimo i inače na našem tijelu ništa ne osjećamo, pak da mi o svem tom, što se u uzduhu sobe zbiva, ne bismo ništa ni znali, da u našoj lubanji nema onih malih dvaju otvora, na koje ulaze ti plahi zvučni valovi u nas i u nama izvode onaj ugodni osjet čistoga muzikalnoga tona, pak ćete, ne sumnjamo ni malo, i vi osjećati neko ugodno raspoloženje u duši svojoj, što ovako savršeno duševnim okom svojim možete gledati zamršenu sliku — jednoga tona u velikoj dvorani!

Ne bismo li tu zanimljivu sliku išli još dalje razmatrati? I naša nas sirena vabi, da joj turobne tonove još malo proučavamo.

2.

Udarimo dakle ponovno nogom o mijeh, neka nam zapjeva sirena! No sada otvorimo dva skrajnja reda s 8 i 16 rupica. Tu

moramo apelirati nešto na muzikalni sluh slušača. Slušaš li svaki ton napose, ili pak oba zajedno, nešto pomnjivije, prepoznat ćeš smjesta, da su si veoma srodni: u muzici bismo rekli, da je ton, koji dolazi od reda sa 16 rupica „oktava“ onoga, koji dolazi od 8 rupica. Kad zajedno zveče, tako se lijepo slože, te čuješ gotovo samo jedan zvek. Što je to „oktava“ zadanoga tona? Znamo, da od kruga sa 16 rupica izlaze dva zvručna vala, dok od onoga s 8 rupica izlazi jedan; prema tomu smjesta razabiremo, da je „oktava“ zadanoga tona onaj ton, koji se izvodi dvostrukim brojem titraja u sekundi. Kad bi na pr. ton kruga s 8 rupica postao od raznih 100 titraja u sekundi, njegova bi „oktava“ na krugu od 16 rupica postala od 100 × 2 = 200 titraja u sekundi; kad bismo ovaj broj titraja ponovno pomnožili s 2, dobili bismo 200 × 2 = 400 titraja u sekundi, a to je opet oktava tona od 200 titraja, ili „druga oktava“ onoga prvoga osnovnoga tona sa 100 titraja u sekundi. Dakle imamo ovu shemu:

	100	titraja	u	sekundi	osnovni ton;
100 × 2 =	200	„	„	„	prva oktava osnovnoga tona;
200 × 2 =	400	„	„	„	druga oktava „ „
400 × 2 =	800	„	„	„	treća oktava „ „
800 × 2 =	1600	„	„	„	četvrta oktava „ „
1600 × 2 =	3200	„	„	„	peta oktava „ „ itd.

Ton dakle, koji je izveden od 3200 titraja u sekundi, za pet je oktava viši ton od osnovnoga našega tona. Jasno je, da smo mogli za osnovni ton izabrati i svaki drugi, bilo s kojim drugim brojem titraja u sekundi, pa bi i on imao svoju prvu, drugu, treću itd. oktavu. Ovaj pojam oktave veoma će nam dobro doći u našoj daljoj šetnji po carstvu tonova. Idemo, da ju nastavimo!

Već smo prije spomenuli, da ton sirene postaje sve viši, što se ploča njezina brže vrti; napokon se ton sasvim izgubi i uho ne čuje više ništa. Obrnuto, ako se sirena sve sporije vrti, ton joj postaje sve dublji i napokon opet prestaje: uho čuje pojedine isprekidane udarce uzduha. Izvodimo dakle veoma važan zaključak, da je naše uho ograničeno u osjećaju uzdušnih valova, koji na nj udaraju: ako ih je premalo u sekundi, ne čuje zvuka, a ako ih je previše, opet ne čuje ništa. Zanimljivo je po tom nastalo pitanje, koje su granice čovječjemu sluhu udarene od prirode? Savart i kasnije Helmholtz, a u najnovije vrijeme Stumpf i Meyer (1899.) i König (1900.) ispitivali su po različnim metodama to pitanje. Prema tomu se može

reći, da treba bar 16 potpunih njihaja u svakoj sekundi, da bi izveli osjet tona; na drugoj se pak strani ton ne može više čuti, ako broj titraja prijedje 36000 u svakoj sekundi. No tu jako utječe osoba slušača, pak se za ove brojeve ne smije uzeti, da vrijede apsolutno. Podjemo li od broja sa 16 titraja u sekundi, dobivamo ponovnom množidbom brojem 2, da je jedanaesta njegova oktava ton sa 32.678 titraja u sekundi: područje čovječjega sluha obuhvata dakle u svem od prilike 11 oktava.

No glazba ne upotrebljuje svih tonova, koji su unutar tih granica. Titrajni su brojevi običnih muzikalnih tonova izmedju 40 i 4000 u sekundi s razlogâ estetskih, obuhvataju dakle u svem jedva sedam aktava.

Helmholtz u svom klasičnom djelu „Die Lehre von den Tonempfindungen“ veli: „Najdublji ton instrumenata u orkestru je *E* kontrabasa sa $41^1/_4$ titraja u sekundi. Noviji glasoviri i orgulje idu do C^1 sa 33 titraja; veliki noviji glasoviri mogu doseći do A^2 sa $27^1/_2$ titraja. U velike su orgulje uklopili još nižu oktavu C^2 sa $16^1/_2$ titraja. No svi tonovi ispod *E* muzikalno su nesavršeni, jer su blizu granici, kod koje uho već ne može da sastavlja titraje u jedan ton. U visini doseže glasovir do tona a^4 sa 3520 titraja, ili gdjekada do c^5 sa 4224 titraja u sekundi. Najviši je ton orkestra valjda d^5 svirale „piccolo“ sa 4752 titraja.“ Kod toga je on polazio od osnovnoga tona sa 66 titraja u sekundi, koji se bilježi pismenom *C* i označuje prvu nižu oktavu s C^1, drugu nižu oktavu s C^2; prvu višu oktavu tona *C* pak označuje pismenom *c*, drugu sa c^1, treću sa c^2 itd.

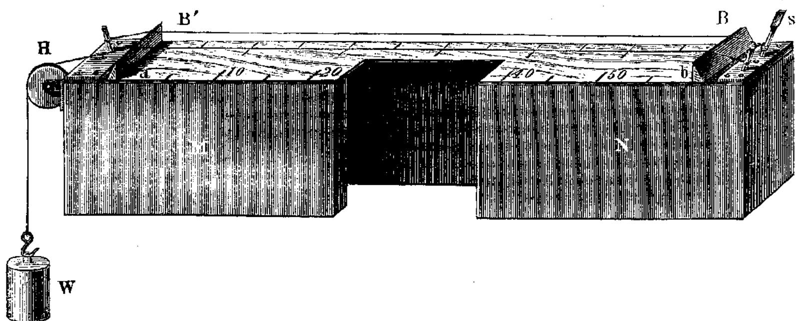
Kako su uši različne u osjećanju najviših tonova, pokazuje lijepo primjer, što ga pripovijeda Tyndall u svom djelu „Glaciers of the Alps.“ Kad je s prijateljem išao po Wengernalpu, bile su livade s obje strane puta pune kukaca, koji su za njega svojim glasnim zujanjem punile uzduh. Prijatelj nije ništa čuo. Zuj je kukaca, sastavljen od samih veoma visokih tonova, bio s onu stranu granice njegova sluha.

3.

Za pravilne tonove dva nam se izvora do sada pokazaše: uzdušni udarci kod sirine i pravilno njihanje zubaca na akustičnoj vilici, koje takodjer izvodi u uzduhu pravilne zvučne valove. Titranja njezinih čestica mi doduše ne vidimo, jer su zamasi premaleni i

i prebrzi, no elasticiteta željeza ih podržava duže vremena u jednakoj snazi i jednakome trajanju, pa poradi toga mogu u uzduhu izvoditi one pravilne valove, koji dopiru do uha, i koji su nužni uvjet svakomu osjetu zvuka. No već iz toga samo po sebi izlazi, da to ne mogu biti jedini izvori tonova: svako elastično tijelo, podobno, da mu čestice izvode duže vremena ovake pravilne titraje dosta velike brzine i zamaha (amplitude), moći će u uzduhu oko sebe izvoditi zvučne valove. Svako elastično tijelo pretvorit će se u izvor zvuka, čim mu čestice pravilno titraju i svoje titranje mogu prenositi na uzduh oko sebe.

U kratku prijegledu proletimo dakle tek najobičnije izvore tonova osobito s obzirom na muziku.



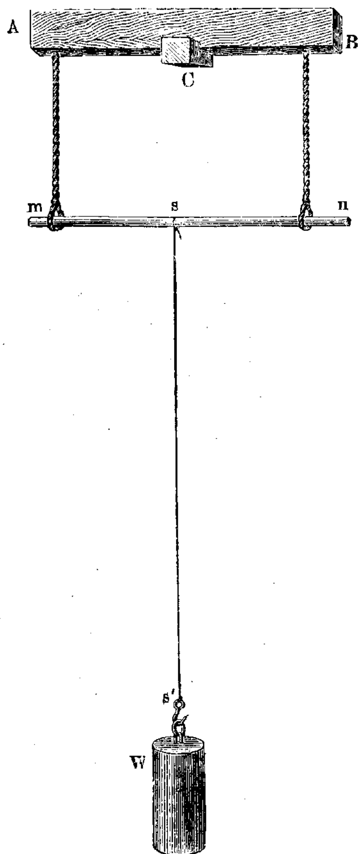
Sl. 40. Monokord ili sonometar.

A. Tonovi od elastičnih struna. Od svih je umjetnosti danas najpoznatija glazba ili muzika i svatko zna danas glazbene instrumente, koji vabe lijepe melodije iz napetih struna i žica. Narod hrvatski i srpski ima pače i svoj posebni instrumenat te vrste — tamburicu, koju danas pozna već cio obrazovani svijet, i gusle javorove; a tko nije već prisluškivao divnim glasovima violine, navlastito, kad joj žice prebire majstor, kaki je na pr. bio hrvatski nezaboravni Krežma? Bližnja nam je zadaća, da proučavamo titranje (vibracije ili oscilacije) napetih elastičnih struna i žica, kako bismo mogli razumjeti, zašto ih glazba upotrebljuje tako rado kao izvore tonova kod tolikih instrumenata već od najstarijih vremena i kako bismo ispitali zakone njihova titranja.

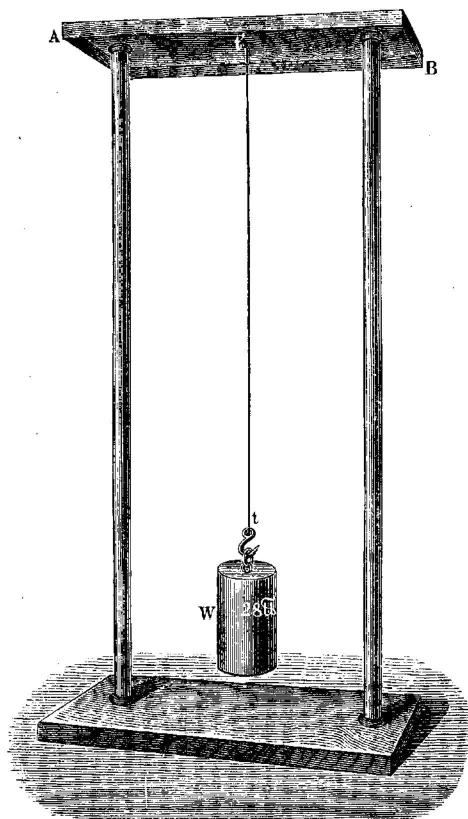
Idemo prokušanim putem fizike, pak izvodimo nekoliko pokusa, koji će unijeti potpunu svjetlost i u ta pitanja; tek pripominjemo, da su već grčki filozof Pitagora (582.—507. prije Krsta) i nje-

govi učenici znali najglavnije zakone o tom, ali su ih tek učenjaci 18. stoljeća Taylor, Bernoulli, d' Alembert, Euler i Lagrange izveli potpuno iz teorije, a pokusi su njihove izvode potvrdili.

Danas se u tu svrhu upotrebljuje poseban aparat, — „monokord ili sonometar." (Sl. 40.). Vidimo aparat, na kojem se



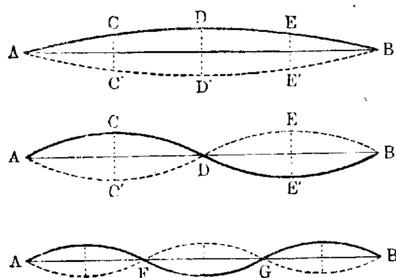
Sl. 41. Titranje napete žice u uzduhu.



Sl. 42. Titranje napete žice u uzduhu.

mogu žice razapeti izmedju dvije čvrste točke, pa kad ih makneš iz njihova položaja mirovanja, titraju im čestice okomito na dužinu žice, dakle poprječno ili transversalno. Kraj je jedne žice učvršćen u s, a drugi ide preko kolotura H i napet je utegom W (14 kg). Žica ide preko sedla B i B', koja stoje na odugu drvenu ormaru

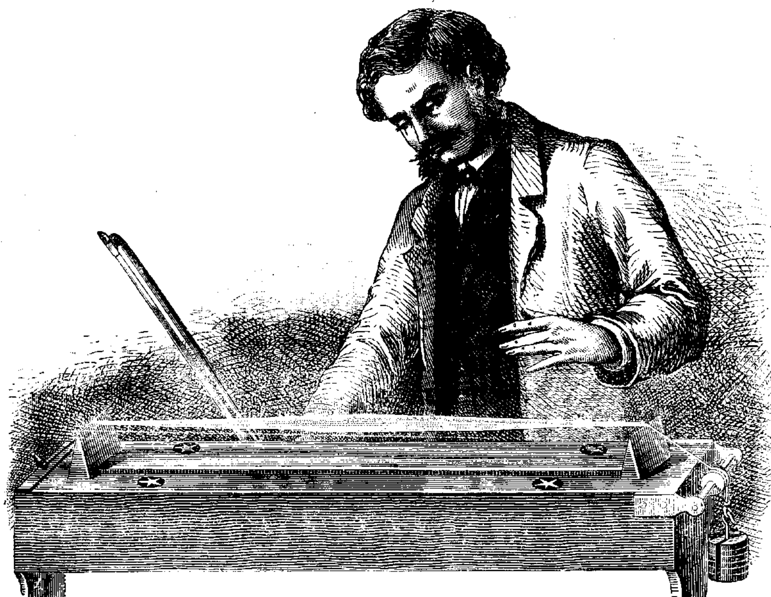
MN. Uhvatiš li žicu u sredini, pak je trgneš na stranu, skočit će odmah natrag u predjašnji položaj, prijeći će preko njega na drugu stranu, opet će se vratiti i tako će se neko vrijeme njihati tamo i amo oko svoga položaja mirovanja, a uho naše čuje ton, kojemu je izvor njihanje žice. No zapravo ne dolaze zvučni valovi baš ravno od žice u naše uho: množina uzduha, što ga potrese ovako tanka žica svojim njihanjem, premalena je, da bi mogla izvoditi valove toliko jake, da ih uho čuje u nešto većoj daljini od izvora. Baš poradi toga razapeta je žica preko sedala *B* i *B'*, pa kad titraju čestice žice, prenosi se to titranje preko njih na čitavu masu ormara i na uzduh u njem, tako da se i njihove sve čestice potresaju, pa je zapravo ormar i uzduh u njem — pravi izvor tona, koji dopire do nas. Tyndall je to dokazivao lijepim pokusima. Napetu je žicu *ss'* (sl. 41.) tako objesio, da se nigdje ne dotiče ovećih površina čvrstih tjelesa, na koja bi mogla prenositi svoje titranje. Kad ju trgneš u sredini, zanjiše se živo, ali ni najbliži slušači ne čuju tona! Drugu je žicu iste dužine, debljine i od iste tvari objesio na daski *A B* (sl. 42.) i napeo jednakom utegom *W* (14 kg). Kad se njiše ova žica *tt'*, čuju svi u dvorani jasno ton. Ovdje je samo jedan kraj žice *t'* sastavljen s daskom *AB*, ali to je i već dosta, da se titranje žice prenese na nju i da se daska pretvori u zvučno tijelo. Ako se pak baš taka žica razapne na monokord (sl. 40.), ton je veoma jak i pun, jer je aparat baš tako gradjen, da primi potpuno titranje žice na se. Izbija dakle, kako je veoma važno kod svih muzikalnih instrumenata s napetim žicama upotrijebiti tjelesa, koja zajedno sa žicama zveče (resoniraju). Kod tamburice, gusala, violine, glasovira, gitare zapravo ne izvode zvučne valove u uzduhu napete žice, nego one velike površine elastičnoga drva i uzduh u njima. O tome, kaki su ti „ormari resonancije“, zavisi gotovo sasvim dobrota takova glazbala. Stokes je rastumačio ovo čudno djelovanje ormara resonancije. Kad tanka žica sama titra u uzduhu, ugiba joj se lako uzduh na jednu i na drugu stranu, pa ne dâ, da dodje do onih karakterističnih zgušćivanja i rastanjivanja u njem. Ako pak titra



Sl. 43. Titranje napete strune.

veliko tielo, ne može se uzduh na stranu prije ugnuti, nego što postanu oko tijela zgusnute i rastanjene vrste, koje onda kao zvučni valovi marširaju kroz uzduh, izvodeći u uhu glasne i jake tonove. Titranje je žicâ dakle uzrok i povod titranju ovih većih ormara i uzduha u njima, žice ih prenose u stanje trajnoga i pravilnoga titranja, ali žice se same ne čuju, kad titraju.

Bilo je nužno nešto bolje istaknuti veliku važnost suzvučenja kod instrumenata s napetim žicama, jer bez toga ih ne bismo pravo shvatili.



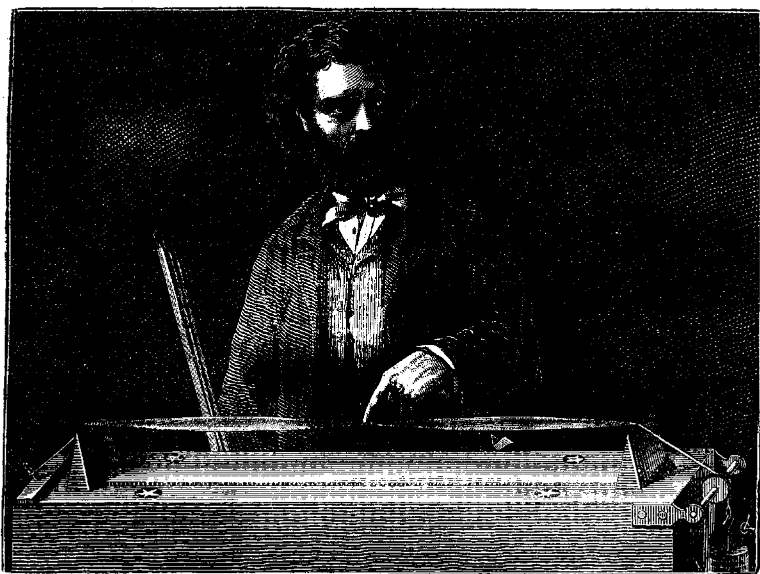
Sl. 43a. Titranje napete žice.

Vraćamo se sada našemu monokordu i ispitujemo zakone, po kojima se ravna njihanje napetih žica.

Da naš studij privežemo uz poseban slučaj, uzimamo, da je žica BB' dugačka 120 centimetara. Trgnemo je u sredini i žica se čitava zanjiše, kako pokazuje sl. 43. (gore). U jednome skrajnjem položaju svom ima oblik ADB, a u drugom položaj $AD'B$. Točke pojedine na žici na pr. C, D, E idu tamo i amo okomito na dužinu žice po pravcima CC', DD', EE'. Sila, koja ih tjera natrag u položaj mirovanja, i ovdje je elasticiteta, koja će očito biti to veća, što je žica jače napeta. Poradi nje će se žica neko vrijeme

sasvim jednako i pravilno njihati s jednim „t r b u š c e m“ u sredini. Uho će čuti ton odredjene visine, i to je „o s n o v n i t o n n a š e ž i c e“. (Sl. 43a). Neka bude broj njezinih titranja u sekundi 440 (to smo s pomoću sirene odredili!). To je najdublji ton, što ga može dati naša žica uz svoju napetost (14 kg.) i on postaje svagda, kada se žica njiše kao jedna cjelina s jednim trbušcem u sredini.

Podmetnimo u sredini žice sedlo i pritisnimo je o sedlo! Razdijelili smo je u dva jednaka dijela po 60 cm. Trgnemo li jedan, ili drugi dio u sredini, čut ćemo opet ton, koji će svako muzikalno

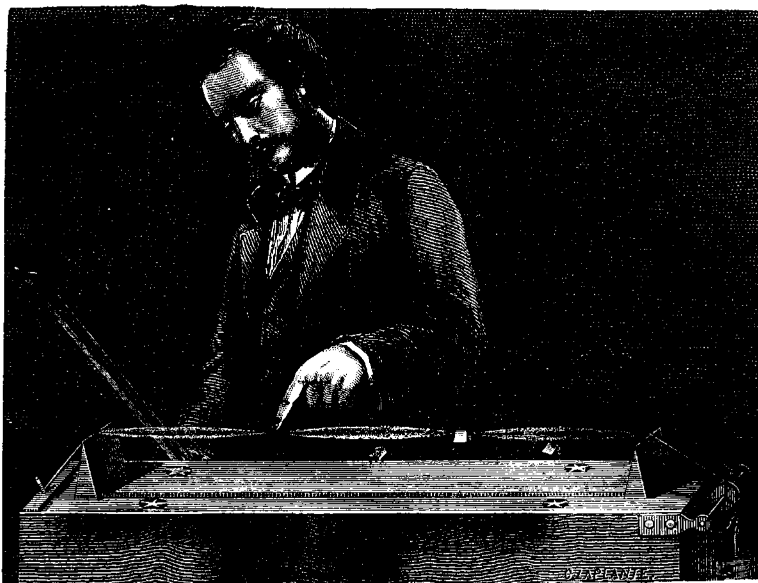


Sl. 44. Njihanje žice; oktava.

uho smjesta prepoznati kao „oktavu“ predjašnjega. Po tom bismo zaključili, da žica dugačka 60 cm izvršuje u sekundi 880 njihaja, jer znamo već od prije, da oktava tona u svim slučajevima postaje, ako se broj titraja udvostruči. Sirena bi nam ovdje zaista potvrdila, da p o l o v i n a ž i c e i z v r š u j e t o č n o d v o s t r u k i b r o j t i t r a j a u s e k u n d i. No zanimljivo je to, da ne titra samo ona polovina žice, koju smo trgnuli, nego i druga, ali se druga ugiba svagda na drugu stranu, kako pokazuje slika 44. Od čitave žice dakle ostaju na miru samo t r i točke: dvije krajnje *A* i *B*, pa srednja *D*; sve druge čestice titraju tamo i amo. Točke, koje kod njihanja kojega

tijela sveudilj ostaju na miru, neka se zovu „čvorovi", a mjesta *C* i *E*, gdje se nadje najveće gibanje, neka se zovu „trbušci". Naša žica njiše dakle s jednim čvorom i s dva trbušca. To jasno pokazuje papirnati konjić, koji pada i s druge strane žice.

Namjestimo li sedlo, ili prst u trećini čitave dužine žice i trgnemo li tu trećinu gudalom (sl. 45.) u sredini, čujemo opet ton, za koji nam sirena pokazuje, da mu pripada $440 \times 3 = 1320$ titraja u sekundi. No i opet ne titra samo ona prva trećina žice, nego i



Sl. 45. Njihanje žice; čvorovi i trbušci.

one druge dvije trećine, ali se za čudo razdijeli sva žica u tri jednaka dijela i njiše se s dva čvora i tri trbušca, a to pokazuju papirnati konjići; dva panu, a treći na čvoru ostaje na žici. Ovako bismo mogli dalje pokuse izvoditi, pa pustiti da titra $\frac{1}{4}$ žice, $\frac{1}{5}$ itd. Istražujući dobivene tonove, dobili bismo ovaj red brojeva:

Dužina žice		120,	60,	40,	30,	10	centimetara
	ili	1,	$\frac{1}{2}$,	$\frac{1}{3}$,	$\frac{1}{4}$,	$\frac{1}{12}$	
Broj titraja		440,	880,	1320,	1760,	5280	u sekundi
	ili	1,	2,	3,	4,	12	

Ne čitamo li s mjesta iz ovih brojeva zakon: broj je titraja ili njihaja napete strune u obrnutom omjeru s dužinom žice; a to je prvi zakon žicâ, koje se njišu.

U opće možemo ovdje dodati, da svako umanjivanje tijela, koje se njiše, sobom nosi, da broj njegovih njihaja u sekundi postaje veći.

Povratimo se opet k žici u čitavoj njezinoj dužini, napetoj najprije malom utegom. Jedva ćemo čuti dubok joj ton; pače, ako je utega premalena, ne ćemo ni čuti tona, nego ćemo vidjeti, kako se žica njiše kao cjelina. Napnimo je sve većim utegama! Ako isporedimo upotrijebljene uteze i dobivene tonove, izbija, da za dvostruk, trostruk, četverostruk broj titraja trebamo četverostruku, deveterostruku, šestnaesterostruku napetost žice: ako brojevi titraja u sekundi rastu prirodnim nizom brojeva, rastu utege ili napetosti žice po redu kvadrata tih brojeva. To je drugi zakon za njihanje napetih struna. Kad muzik hoće, da dade žici njezin pravi ton, što radi? On joj po malo mijenja napetost.

Strune su i žice svagda oblika valjkastoga. Napnimo mjesto naše predjašnje žice drugu, dugačku 120 centimetara, s utegom od 14 kg, samo neka bude deblja, ili tanja, neka se dakle mijenjaju promjeri valjaka. Isporedjivanje dobivenih tonova pokazuje, da se broj titraja u sekundi to više umanjuje, što su žice deblje t. j. što su veći promjeri valjaka: 2, 3, 4 . . . puta veći promjeri žica daju 2, 3, 4 . . . puta manji broj titraja u sekundi i u tome je treći zakon za njihanje napetih žica i struna.

Uzmimo na pr. violinu (gusle). Načinjena je od drveta što veće elasticitete. Strune ili žice idu preko sedla do vijaka, koji ravnaju napetost četiriju razapetih jednako dugačkih žica. Gudalo ih potresa u točki, koja je od prilike za $^1/_{10}$ dužine daleko od sedla. No strune su različne debljine; najdeblja je još omotana finom žicom, kako bi postala još teža i davala najdublje tonove.

Napokon zavisi broj njihaja napete strune ili žice i od gustoće tvari, iz koje je žica načinjena. I to potvrdjuje monokord. Na njem se razapnu dvije jednako dugačke i jednako debele žice, jedna od željeza, a druga od platine, i napnu se jednakim utegama. Tonovi nisu jednake visine: ton je žice od platine mnogo dublji; to osjeća svako uho. No ako brojiš titraje sirenom, naći ćeš (na našem monokordu):

Željezna žica . . . . . 1640 titraja u sekundi
Žica od platine . . . . 1000 „ „ „

Gustoća je željeza 7·8, a platine 21·04, omjer obiju gustoća je dakle 7·8 : 21·04 ili, što je isto *1 : 2·69.* — Ako pak gornje brojeve titraja pomnožiš same sobom (kvadriraš) dobivaš 2,689.000 i 1,000.000, a njihov omjer 2,689.000 : 1,000.000 ili 2·689 : 1, a mjesto toga možemo pisati *2·69 : 1.* Zakon: Uz inače jednake prilike kvadrati su brojeva titraja u obrnutom razmjeru s gustoćom tvari, od koje su načinjene žice. To je četvrti zakon za njihanje napetih struna i žica.

Svi instrumenti glazbeni sa strunama i žicama nisu ništa drugo nego primjene ovih četiriju zakona u svrhe umjetničke.

No da bismo potpuno razumjeli muzikalne instrumente sa žicama i strunama, nije dosta, da poznajemo ova četiri osnovna zakona. Treba da svratimo pažnju na još dvije zanimljive pojave, koje ravnaju tonove instrumenata.

Kad smo govorili o njihanjima njihala (isp. str 13.), zabilježili smo zanimljiv pojav, da treba isto vrijeme za jedan potpuni njihaj, bio put kuglice velik, ili malen. „Istodobnost“ ili „isohronizam“ velikih i malih njihaja u njihala bio je jedno od prvih otkrića mladoga Galileja na području fizike, koje je taj genij obogatio velikim brojem najvažnijih otkrića. Kako stojimo s te strane s njihanjem napetih žica? Možemo dvije jednake žice raspeti na monokordu i jednako napeti. Jednu i drugu trgnemo prstom u sredini iz položaja mirovinja, ali prvu na pr. tri puta dalje nego drugu. Očito je da čestice prve imaju trostruk put prevaliti, dok se vrate u položaj mirovanja. Hoće li im za to trebati i trostruko vrijeme? Nipošto! Sila, koja čestice natrag tjera u položaj mirovanja, to je elasticiteta žice. Ta se sila u tijelu svagda javlja, kad mu se čestice razmiču; što ih jače razmičeš, to je veća i elasticiteta tijela. U žici trostruko ugnutoj rodila se elasticiteta mnogo veća nego u drugoj. Poradi te veće sile, koja čestice natrag goni, dobivaju one i mnogo veću brzinu gibanja, a posljedak je, da će čestice prve žice svoj trostruki put prevaljivati u istom vremenu, kao i čestice druge žice svoje male puteve. Ton će dakle napete žice ostati jednake visine, išle joj čestice tamo i amo po veliku i malenu putu. Nauka bi rekla, da visina tona ostaje

jednaka, bili zamasi ili amplitude veliki, ili mali. Kako pak ti veliki ili mali zamasi odredjuju jakost tona, možemo reći, da najjači i najslabiji ton iste žice ima svagda istu visinu.

Ova je činjenica jedna od najnužnijih podloga naše muzike. Da nema toga osobitoga svojstva u žica, koje se njišu i time daju tonove, mogli bismo na violini, glasoviru, tamburici ili orguljama svaki ton izvoditi samo u jednoj odredjenoj jakosti, a kad bi pustili ton, da polako izdiše, mijenjala bi mu se pri tom nešto visina. Pomislite samo zbrku u muzici, kad bi to bilo!

* * *

B. Tonovi elastičnih šibaka i ploča. Mnogo se manje upotrebljavaju u muzici tonovi, koji izviru iz kovnih šibaka i elastičnih ploča. No krivo bi sudio, tko bi mislio, da samo tanke elastične žice i strune daju tonove, koji toli silno znaju u svojoj harmoniji potresti ljudskom dušom. Istina je: čvrsta tjelesa, kad su im čestice bilo s kojega razloga u stanju titranja, ne daju obično zvukova, koji imaju značaj tona, ali im se zvuci to više približuju pravom muzikalnom tonu, što su im više protege (dimenzije) i oblici simetrični i pravilni, što je veća elasticiteta tvari, od koje su ta tjelesa gradjena, i što je jednoličnija (homogenija) ta tvar. Kamen na pr. u običnim prilikama ne daje muzikalnih tonova, kad mu se potresu čestice, no zgodno obješen, ili namješten i zgodno udaran, može davati tako čiste tonove, da ih čovjek i osupnut sluša.

Stara priča kazuje, da bi o ishodu Sunca, kad prve zrake njegove udarahu o ogromni kip Memnonov u egipatskoj Thebi (Sl. 46.), iz posvećenih ustiju kralja izlazili muzikalni tonovi — čudo neukomu svijetu. Priča je odmah znala, da Memnos vraća majci Eos prvo njezino pozdravlje o ishodu Sunca.

Još danas stoje ruševine kipa, koji je od potresa g. 27. pr. Krista stradao bio, pak mu se gornje tijelo srušilo. Čini se, da su tek od onda izlazili iz njega glasovi. Ne znamo, pokazuju li i današnji ostaci ovo čudno svojstvo. Pojav sam nije ništa nemoguće, jer se i drugdje (na pr. u Engleskoj) našlo prirodnoga kamenja, koje je davalo tako pravilne tonove, da su mu nadjenuli ime „muzikalno kamenje.“ Uzrok je pojavu kod Memnonova kipa jamačno bio u tome, što su se od prvih zraka sunčanih nejednako ugrijale česti granitnoga velikoga komada i tijem dale povoda molekularnim gibanjima, koja su bila tako pravilna, da su izvodila muzikalan ton.

Posvetimo dakle nešto pažnje i tonovima čvrstih šibaka i ploča. Čvrsta šipka neka bude učvršćena na oba svoja kraja. Zapravo nije u tom slučaju drugo, nego debela žica. I šipka može da se njiše kao cjelina, ali se može da razdijeli i u dva, tri, četiri . . . dijela kod njihanja poprijeko (transversalno), kako pokazuje slika 47. No broj titraja ne raste po istom zakonu kao kod žica. Tako na pr. svaka polovina šipke izvršuje gotovo 3 puta toliko titraja kao čitava (točan



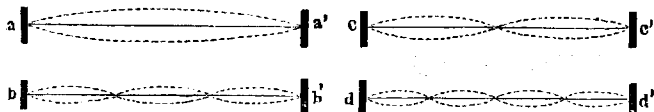
Sl. 46. Memnonovi kipovi.

je omjer 9 : 25 t. j. $3^2 : 5^2$). U našoj slici njiše šipka bez čvora, s 1, 2, i 3 čvora. Prema tomu je:

Broj čvorova	0	1	2	3
Broj titraja u sekundi . . .	9	25	49	81

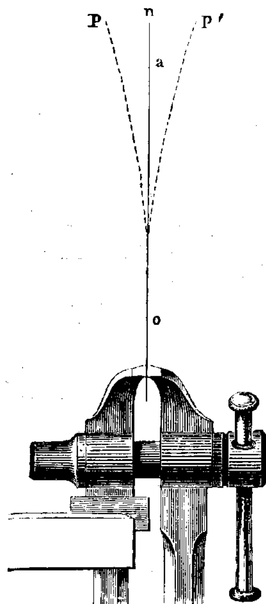
Drugi red brojeva pokazuje kvadrate neparnih brojeva 3, 5, 7, 9. Uzrok toj na prvi mah nerazumljivoj razlici pogodit će čitalac i sâm, kad se sjeti, da se elasticiteta žice bûdi izvanjom silom, dok titraje štapa podržaje vlastita njegova elasticiteta. Sile, koje tjeraju čestice natrag, nejednake su, a poradi toga i brojevi titranja.

Šipka može popriječno titrati i onda, ako se učvrsti samo na jednom kraju. Može da titra i kao cjelina (Sl. 48.) i s čvorovima (Sl. 49.), ako se utišaju titranja kod točke *a* prstom. Šipka se njiše u dvije nejednake česti rastavljene jednim čvorom kod *a*. Ovaki



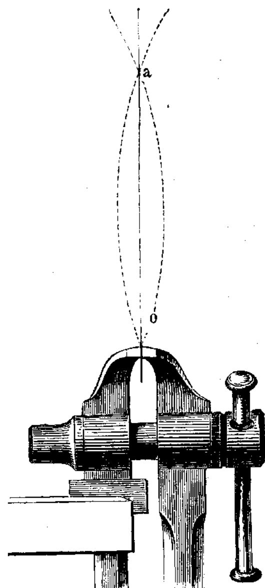
Sl. 47. Njihanje šipke.

se titraji šibaka najlakše dobiju, ako se šipke na zgodnome mjestu snažno udare batićem, a kod šibaka dugačkih oko 10 cm, ako se gudalom potresaju. Ovaka šipka daje dubok muzikalan ton. Što je kraća šipka, to je viši njezin ton, i napokon postane veoma neugodan.



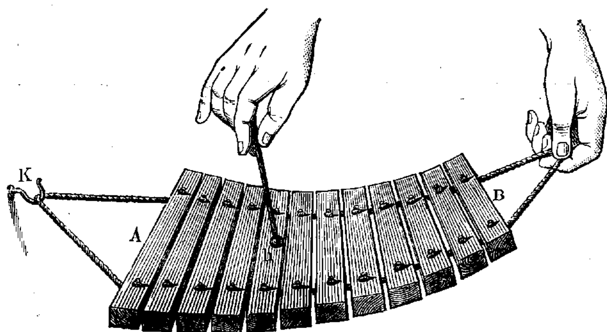
Sl. 48. Njihanje šipke učvršćene na jednom kraju.

I kod ovih titraja vlada osobit zakon. Uzmimo šipku dugu 90 cm, pa neka njiše kao cjelina u svakoj sekundi samo jedan put. Ako ju pokratimo na 30 cm, njihat će u sekundi devet puta; pokraćena na 15 cm, njihat će 63 puta, na 7·5 cm 144 puta, a kod dužine od 2·5 cm 1269 puta u sekundi. Zakon će svatko i sam opaziti. Na dlanu je, da od ovakih kratkih, na pr. željeznih šibaka, na jednom kraju učvršćenih, možeš sastaviti muzikalan instrument, ako ih usadiš na pr. jednim krajem u daski. Na toj su osnovi zaista gradjeni automati, koji se danas toliko upotrebljavaju, navlastito u javnim lokalima. U valjku, koji se vrti, usadjeni su čavlići, koji slobodne krajeve šibaka dignu i onda naglo



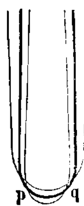
Sl. 49. Njihanje šipke utišane.

ispuste. Šipke (ako su tanke i kratke, zovu se takodjer „j e z i č c i") se zanjišu na kratako vrijeme i daju prema svojoj dužini i debljini različne, nužne tonove.

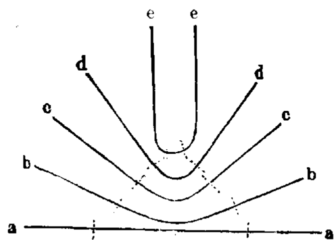


Sl. 50. Drvena harmonika.

I na oba kraja učvršćene šipke upotrijebili su za glazbene instrumente. To je francuska „d r v e n a h a r m o n i k a". (Sl. 50.). Drvene šipke različne dužine, širine i debljine nanizane su baš u čvorovima na vrvcu. Jedan se njezin kraj objesi na kvačicu *k*, a drugi se drži u ruci. Batić *h* udara šipke u sredini, te one daju blagoglasnu muzikalnu skalu. Kod „s t a k l e n e h a r m o n i k e" upotrebljavaju staklene šipke mjesto drvenih. Svaka se ovaka šipka rastavlja kod njihanja u t r i dijela s d v a čvora. Ako se taka šipka s d v a čvora *aa* savija, kako pokazuje slika 51., u oblik *bb, cc, dd* i *ee,* ostaju joj oba čvora, ali se jedan drugomu približuje; poradi toga je i ton savite šipke nešto niži od tona upravne. Napokon postane od šipke „akustična vilica" *ee* s dva usporedna zuba. Kada daje svoj osnovni ton, njiše se kao u slici 52. s dva čvora kod *p* i *q*. Oba zuba njišu u isti mah na unutrašnju i onda opet u isti mah na izvanju stranu. Krivina se srednjega dijela izmedju *p* i *q* pri tom naizmjence uvećava i umanjuje, pa sila, koja čestice natrag tjera, najviše i potječe baš od elasticitete toga srednjega dijela vilice. Kako bi se ton vilice ujačao, obično je šipka nataknuta na valjkast željezni štap, koji se usadi na „o r m a r z a r e s o n a n c i j u" pa se ovako nasadjena vilica često zove „d i a p a s o n."



Sl. 51. Akustična vilica.



Sl. 52. Njihanje akustične šipke.

Visina tona, što ga izvodi ovaka vilica, zavisi o obliku i protegama instrumenta. Muzika ju puno upotrebljava za udešavanje tonova drugih instrumenata ili glasova ljudskih grla u zborovima i kazalištima. Medjunarodna glazbena konferencija u Beču (g. 1885.) uvela je francusku udezbu tonova od g. 1859. Po tom je „normalna vilica“ za udezbu tonova ona, koja u sekundi izvodi 435 titraja (potpunih). Zove se „normalna a_1-vilica.“ Kako je po tom akustična vilica jedan od osnovnih i najglavnijih instrumenata akustike i muzike, treba da se njom još časak zabavimo.

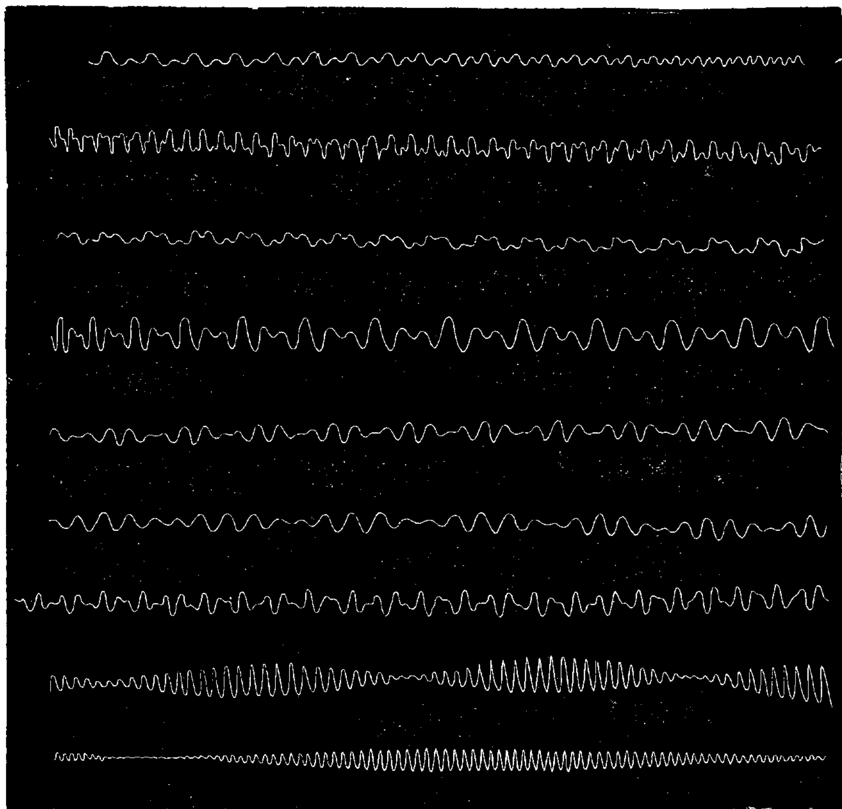


Sl. 53. Grafično bilježenje titranja.

Njihaji se vilice ne vide. No da postoje, veoma se lijepo može pokazati tako zvanom „grafičkom metodom.“ I inače se ta metoda veoma često upotrebljava kod istraživanja sitnih i zamršenih gibanja. Liječnici na pr. njom bilježe („registriraju“) gibanja kod disanja i udaranje bila („pulsa“).

Oko ovoga valjka (sl. 53.), koji se vrti oko vodoravne osovine, prebačen je papir očadjen plamenom, koji se jako puši. Na jednom je zubu vilice učvršćen fin šiljak na pr. ščetina, ili tanka žica. Akustična se vilica tako namjesti, da se vrh šiljka baš tiče crne

površine papira, a kad je udarim, da zveči, njiše i šiljak vodoravno tamo i amo. Ako sada valjak okrećeš, dok je šiljak na miru, riše on na crnom papiru bijelu crtu, koja se savija oko cilindra kao krug. No ako se šiljak medjutim tamo i amo njiše, udaljuje se on nešto od toga kruga naizmjence na jednu i na drugu stranu i mi



Sl. 54. Sastavljeni titraji.

dobivamo naslikanu valovitu crtu. Nešto se sličnoga dogadja, kad putnik pred sobom svojim štapom crta u pijesak, a pri tom štap na desno i na lijevo pomiče. Na crti, što je vilica zabilježi na papiru, lijepo se mogu proučavati tančine njezinoga gibanja. Ako brojiš valove (dô i brijeg zajedno kao jedan val), saznaješ broj titraja njezinih za svakoga okreta valjka. Znaš li još brzinu, kojom se valjak

okreće, lako ćeš odrediti i broj njezinih titraja u sekundi. Veličina nacrtanih valova kazuje ti, kolik je bio zamah (amplituda) titraja i prema tomu jakost tona. Ako su svi valovi jednako veliki, znak je, da su i svi titraji bili jednakih zamaha, ako su nejednaki, bili su i titraji jači i slabiji. Da se na pr. šiljak na svom putu negdje za časak povratio, da onda opet nastavi svoj predjašnji put, s mjesta bi to opazio na valu: na onome bi mu se mjestu oblik nešto poremetio. Priložena slika (sl. 54.) pokazuje ovake sastavljene titraje.

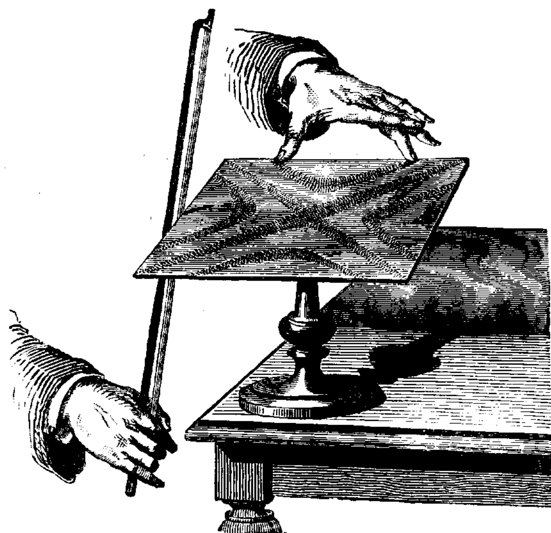
Još nekoliko riječi o titranju uzduha u ormaru za resonanciju!

Sl. 55.



To je četverouglast ormanić, koji je na jednom kraju otvoren i uzduh u smjeru dužine ormana naizmjence u nj ulazi i iz njega izlazi, a tomu je uzrok, što se titranje vilice prenosi na drvo ormana. Sve čestice uzduha u ormanu dakle najprije njišu k zatvorenom kraju ormana; nakon polovine vremena, što traje jedan potpuni njihaj, krenu natrag suprotnim smjerom. Sila, koja uzduh natrag tjera, dolazi otuda, što uzduh izvršuje veći tlak, kad je gušći, a manji tlak, kad je tanji, nego kad je u svome prvobitnom stanju. Kad naime čestice uzduha u ormanu krenu prama zatvorenomu kraju

njegovu, stlači se on ondje. Veći tlak, koji tako postaje, tjera čestice natrag u njihovo stanje mirovanja. Ako pak čestice uzduha izlaze iz ormana, mora da se uzduh na zatvorenom kraju ormana rastanji. Tlak je ondje manji nego prije, pak sada veći tlak izvanjega uzduha tjera čestice natrag. Sve u jedno: uzduh u ormanu izvodi sasma pravilne titraje tamo i amo oko svoga položaja mirovanja, koji se poznatim načinom rasprostiru sve dalje po izvanjem uzduhu, izvodeći u njem cio niz jednakih valova, koje naše uho prema broju njihovu u sekundi osjeti kao viši, ili niži ton vilice.



Sl. 56. Titranje ploče.

I čitave ploče mogu poprečno (transverzalno) titrati i pri tom se pokazuju neki osobito zanimljivi pojavi, što ih je otkrio otac moderne nauke o zvucima Chladni (1756.—1827.; sl. 55.). Ako pospeš četverouglaste, ili okrugle ploče od mjedi ili stakla, koje stoje u svom središtu na nozi, finim praškom (pijeskom) možeš njima izvoditi najrazličnije tonove, ako ih na rubu tareš gudalom i s jednim ili s dva prsta na različnim mjestima titranje čestica utišaš. Pijesak odskakuje od potresenih dijelova ploče, pak se skuplja ondje, gdje je titranje čestica najslabije. Tako postaju na ploči najraznoličnije crte, poznate uz ime „čvornice“ ili takodjer „Chladnijeve slike“ (sl. 56.). Slika 57. pokazuje cijelu zbirku takih slika. Odaje nam, da take ploče ne titraju nikada kao cjelina, nego da se

dijele u česti, koje titraju na suprotnu stranu, i na česti, koje miruju. Ove zapravo nisu drugo, nego neprekinut niz čvorova i otud im ime „čvornice.“ U opće se našlo, da je to više čvornica, što je viši ton ploče.

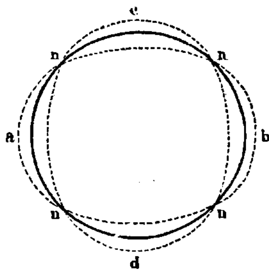
Zvonovi nisu drugo nego savite kovne ploče, u kojima titranje izvodi i podržaje bat ponovnim udarcima. Kako titraju, lijepo pokazuje ovaj pokus, koji svatko može izvesti. Čaša do polovine puna vode titra kao zvono, ako se gudalom prijedje preko ruba (sl. 58.),



Sl. 58. Titranje zvona i vode.

ili ako se tare na rubu prstom (mokrim). Titranje se prenosi i na vodu u čaši, pak ćeš jasno vidjeti na površini vode svu silu sitnih valova, koji se rasporedjaju obično u četiri, često u šest glavnih hrpa. Što je ton viši, to su gušći valovi, a ako mu uvećaš jakost, titranje je vodenih čestica tako jako, da odskakuju od svakoga vala kao fina kiša. Slika 59. pokazuje, kako se njišu pojedini dijelovi zvona. Kad zazveči njegov najniži ton, razdijeli se u četiri dijela, koji njišu; razdijeljeni su čvornicama, koje idu od ruba zvona

do vrha. Mjesto, gdje udari bat, svagda je sredina dijela, koji njiše, a to je i točka njoj nasusred. 90 stupanja na desno i na lijevo takodjer su sredine dvaju dijelova, koji se njišu, a 45° stupanja od njih teku čvornice. U našoj slici označuje deblji krug obod zvona. Ako bat udara kod *a*, *b*, *c* ili *d*, pokazuju iscrtane linije titranje ruba izmedju čvornica *n*. Dok dijelovi zvona kod *a* i *b* njišu zajedno na izvanju stranu, njišu dijelovi kod *c* i *d* zajedno na unutrašnju stranu. Krug se zvona neizmjence pretvara u ovalnu (jajastu) crtu, kojoj je jedan put duži promjer *ab*, a čas poslije ovalna crta 's promjerom *cd*. Broj titraja u sekundi, što ih izvode čestice zvona izmedju tih granica, a po tom i visina njezina glasa, zavisna je o debljini zvona i o polumjeru njegovu: što deblje zvono, to veći broj titraja, što veći promjer zvona, to manji broj titraja u sekundi. Velika zvona daju dakle duboke glasove.



Sl. 59. Titranje zvona.

No ako se zgodna mjesta na zvonu utišaju, dotakavši ih na pr. prstom, može se zvono kod svoga titranja razdijeliti još na 6, 8, 10 i 12 dijelova; onda daje isto zvono mnogo više tonove:

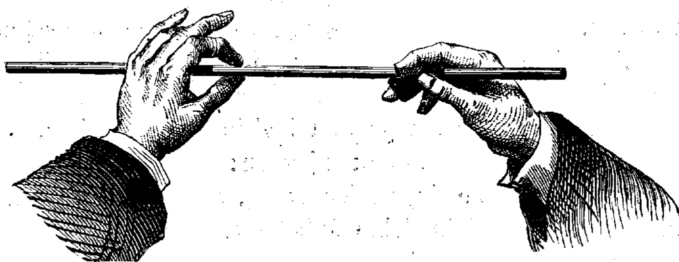
Broj odjeljaka	4	6	8	10	12
Titrajni brojevi	4	9	16	25	36

To hoće da reče: ako na pr. osnovni (najniži) ton zvona kod razdiobe na 4 odsječka ima 40 titraja u sekundi, imat će ton kod dijelenja u 6 odsječaka već 90 titraja, kod dijelenja u 8 dijelova već 160, kod dijelenja na 10 dijelova 250, a kod dijelenja na 12 dijelova već 360 titraja u sekundi.

Vrč s ručicom na jednoj strani pokazat će ti iste pojave, ako prijedješ gudalom po rubu ručici nasusred, ili od nje 90 stupanja. Već je Chladni taj pokus s vrčom izveo.

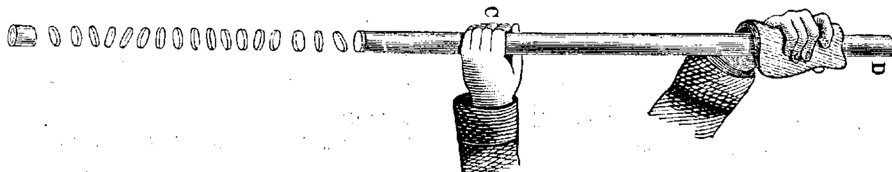
Kod svih pokusa do sada izvodile su čestice šibaka, koje titraju, poprečne (trasverzalne) titraje, t. j. čestice su svagda titrale okomito na dužinu šipke. No jasno je svakomu, da će im se čestice dati potresti i u smjeru dužine njezine: čestice će u tom slučaju titrati „uzdužno“ (longitudinalno). Tyndall je pokazivao u svojima klasičnim predavanjima ovaj lijepi pokus. Razapeo je žicu dugu 690 centimetara, a mogao ju je po volji napeti. Komadom kože namazanim kolofonijom (smolom) obuhvatio bi žicu i po dužini tamo i amo po njoj išao (sl. 59a.): svi bi čuli glasan i pun muzikalan ton.

Kad bi je u sredini čvrsto uhvatio i jednu polovinu tro, bio bi ton viši, i to baš oktava predjašnjega itd. Ovdje titraju čestice žice uzdužno, a sila, koja ih natrag tjera, to je elastična sila izmedju molekula, pa kako je ta sila mnogo veća od one, što je mi možemo izvesti napinjući žicu bilo kako, moraju i tonovi žice, izvedeni uzdužnim titranjem, biti kud i kamo viši od tonova izvedenih po-



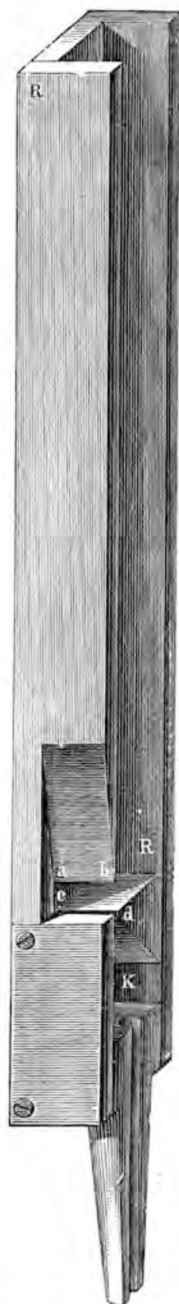
Sl. 59a. Titranje uzdužno štapom.

prečnim titrajima. Ako se žica krepko i brzo tare, ti su tonovi neobično jaki i kod kratkih žica visoki, pak su poradi toga gotovo neugodni. Tyndall je jedan kraj žice pričvrstio o jak drven stalak, a drugi je vodio preko vijka u klupi i tako je mogao žicu napeti. Poradi toga mu je i ton postao neobično jak: uzdužni su se titraji prenosili na čestice stakla i na klupe, a kako su ovi bili okomiti na žici, pretvorili su se u poprečne titraje čestica drvenih u staklu i klupi, i ovi zapravo dadoše tonu njegovu vanrednu jakost. Ovo nam je prvi primjer za pretvaranje uzdužnih titraja u poprečne.



Sl. 60. Staklena se cijev razlama od titranja.

I šipke učvršćene na jednom kraju mogu izvoditi veoma krepke uzdužne titraje, ako ih tareš prstima namazanim kolofonijem: u brzoj se izmjeni šipka nešto rasteže i skraćuje. Kad daje svoj najniži ton, nema na njoj nigdje čvora. Osobito je lijep pokus pokazivao Tyndall sa staklenom cijevi dugom 118 cm. Kad bi je jednom rukom čvrsto uhvatio u sredini *C* (sl. 60.) i jednu polovinu *CD*



Sl. 61.
Obična svirala.

čvrsto tro mokrom krpom, raspukla bi se druga polovina u kolutaste komadiće. Preporučamo ove lijepe pokuse sa žicama i staklenom cijevi pažnji čitalaca, koji će si njima pribaviti gdjekoji časak ugodne zabave, a uz nješto vježbe izvodit će ih lako bez osobitih aparata!

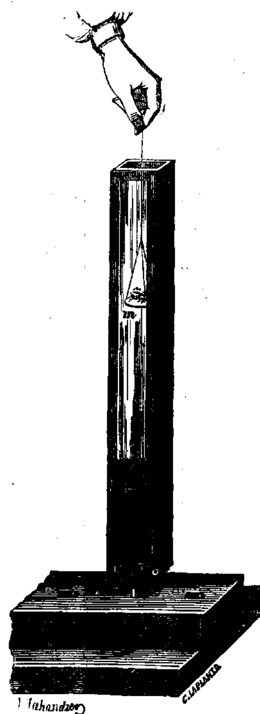
C. Tonovi uzdušnih stupaca u cijevima (svirale). Tko ne pozna snažne harmonije tonova, što ih izvodi dobra vojnička glazba? Tko ne pozna osim bubnja i ploča onih limenih instrumenata njihovih svakovrsnoga savitoga oblika i svakovrsnih ravnih svirala njihovih? Neobični dojam take glazbe očito potječe baš od onih čudnih svirala, pak će za stalno svakoga zanimati, da nešto sazna o tome, kako postaju ti tonovi.

Svi ti instrumenti, koje sakupljamo uz zajedničko ime „svirale" (instruments a vents, Blasinstrumente) načinjeni su od čvrstih cijevi, što uglastih, što valjkastih; jedne su upravne, a druge više ili manje savite. Svaka taka cijev obuhvata stupac uzduha. Pomoću dodatka na jednom kraju cijevi („glava" svirale), koji prema instrumentima dobiva različne oblike, mogu se čestice toga uzdušnoga stupca tako potresti, da titraju pravilno. Kako bi saznali glavne i osnovne zakone, po kojima titraju ovi uzdušni stupci, privezat ćemo naša razmatranja o upravne cijevi, uglaste i valjkaste, kake vidimo



Sl. 62.
Obična svirala.

na svakim orguljama („obična svirala"). Slike 61. i 62. pokazuju take svirale i po izvanjem obliku i po prorezu. Na svakoj vidiš dolje „hodnik", na koji ulazi u sviralu uzduh ili zapravo vjetar iz kakova mijeha. Struja najprije udje u kutijicu („komoricu") *K*; gore je zatvorena, ali ima usku pukotinu *cd*, i kroz nju zgusnuti uzduh izlazi. Ta tanka struja uzduha udara o oštar brid *ab* i izvodi ovdje zamršeno i nepravilno šuštanje, potresujući nepravilno uzduh u okolini brida. Otvoreni prostor izmedju *ab* i *cd* čini „usta svirale." Slika 62. pokazuje ovakovu valjkastu sviralu iste dužine, koja je na gornjem kraju zatvorena pločicom *R* („zatvorena svirala"). Iz tih različnih potresa izbira svirala samo neke i u cijevi samoj postaje sasvim pravilno titranje svih čestica uzduha veoma slično uzdužnom titranju šipke, koje smo čas prije spominjali. Kako to dolazi, da iz nepravilnoga zuja struje, koja izlazi iz pukotine *cd*, postaje baš jedan ton odredjene visine, razumjet ćemo tek poslije, kad još nešto dublje zaronimo u pravo poznavanje tonova.



Sl. 63. Titranje uzduha u svirali.

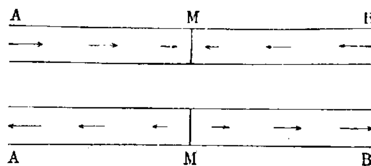
U prvi mah nam je nešto neobično: do sada smo uzduh poznavali samo kao prenosnik tona od njegova izvora u naše uho; u njem su se tek rasprostirali zvučni valovi, sastavljeni od zgusnute i rastanjene vrste, a uzrok, da su se u njem taki valovi gradili i širili, bio je obično u pravilnom titranju čestica kojega čvrstoga tijela. Ovdje je uloga uzduha sasma drukčija: on je sam i izvor zvuka i prenosnik u naše uho; uzduh u cijevi pravilno titra i on je izvor zvuka, a na izvanji se uzduh prenose ti pravilni potresi njegovi, i u njem radjaju valove, koje on prenosi u uho.

Je li u opće istina, da titraju čestice u uzdušnom stupcu u cijevi svirale, a ako titraju, kako titraju?

U otvorenoj svirali titraju čestice uzduha baš kao u šipke, koju držim čvrsto u ruci i jednu polovinu tarem mokrom krpom: uzdušne čestice titraju uzduž cijevi; u sredini je čvor, a na oba su

kraja mjesta najjačega titranja. Bismo li se mogli kako uvjeriti, da je zbilja tako? Hopkins je riješio to pitanje. Jedna je strana cijevi (sl. 63.) staklom pokrita. Na koncu se spušta u nju napeta kožica (membrana), na kojoj je nešto finoga pijeska. Kad svirala zveči, skakuće pijesak po kožici to jače, što je jače titranje uzduha na tome mjestu. Na gornjem i donjem kraju cijevi skakuće najviše, u sredini ništa; tu je dakle čvor. Na čvoru su najveće promjene gustoće uzduha, ali nema titranja; na krajevima cijevi čestice titraju pravilno gore i dolje, ali se ne pokazuje tamo gotovo nikakvo zgušćivanje na raztanjivanje: tu su, mogli bismo gotovo reći, trbušci vala (sl. 64.).

No valja odmah istaknuti, da uzduh u istoj svirali može titrati i s dva i više čvorova, pak prema tome daje i više po visini svojoj različnih tonova. Treba samo jače puhnuti u cijev, pak ćeš odmah čuti oktavu osnovnoga tona, dakle ton, koji izvršuje dva puta toliko titraja kao osnovni. Hopkinsov tamburin pokazuje, da u sredini nema više čvora; tamo pijesak najviše skakuće, ali su zato u cijevi dva čvora jednako daleko od sredine i od krajeva cijevi. Uvećaš li još više jakost struje, dobit ćeš od svirale ton, koji čini tri puta toliko titraja, koliko osnovni itd. Ako je na pr. osnovni ton otvorene svirale imao 100 titraja u sekundi, on skoči uvećavanjem vjetra odmah na 200, 300, 400 titraja u sekundi, ali uzduh u takoj svirali ne može nikada na pr. 150 puta u sekundi titrati.



Sl. 64. Titranje uzduha u otvorenoj svirali.

Dva su muža prvi odredili zakone, koji ravnaju tonove ovakih svirala: Pater Mersenne (1588.—1648.) i Daniel Bernoulli (1700.—1782.).

Prvi je već opazio, da slične svirale različnih protega, dakle dvostrukih, trostrukih itd. dimenzija daju 2, 3 puta manji broj titraja u sekundi. Ako pak gradimo svirale, kojima je dužina velika spram širine i debljine, pokazuje se veoma jednostavan zakon za broj titraja: što je duža svirala, to joj je niži osnovni ton, i to tako, da su brojevi titraja (u sekundi) baš točno u obrnutom omjeru s dužinom svirale. Na pr. u priloženoj slici (sl. 65.) imamo 4 svirale, kojima su dužine 1 : 2 : 3 : 4. Ako najmanja u sekundi izvrši 360 titraja, izvršit će druga samo

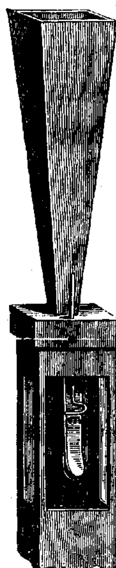
180, treća 120, a četvrta 90 titraja. Taj zakon vrijedi za otvorene svirale. No ako su pred tobom dvije jednako dugačke svirale, jedna otvorena, a druga zatvorena, osnovni su im tonovi skroz različni, ali u zakonitoj su svezi: osnovni ton otvorene svirale svagda je oktava od osnovnoga tona zatvorene.



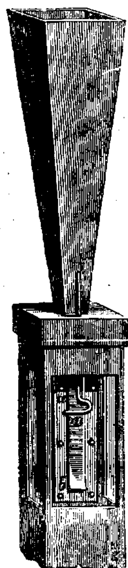
Sl. 65. Zakon za svirale.

Bit će poslije prilike, da se osvrnemo na neke instrumente praktične muzike osnovane na ovim zakonima, a sada da bacimo još oko na drugu vrstu svirala, koje vežemo uz ime „svirale na jezičac." Na donjoj rupi zvučne cijevi namjestimo elastičnu tanku pločicu *ab* (sl. 66.) tako, da naizmjence otvara i zatvara šuplju komoricu *cd*, kada pred njom titra. Štapić *m* produžuje, ili skraćuje

nešto dužinu jezičca prema potrebi. Kad uzdušna struja iz mijeha ide kroz komoricu, zanjiše se jezičac poradi svoje elasticitete utjecanjem vjetra te prekida svaki ča sstruju; uzduh zatitra kao kod sirene i njegovi se titraji prenose na nataknutu zvučnu cijev. Ova se vrsta jezičca zove „udarajući jezičac" (anche battante, die ausschlagende Zunge). Jezičac prema tomu nije izvor tona, nego samo povod tonu t. j. on samo pretvara trajnu struju uzduha u isprekidanu, od koje onda čestice uzdušnoga stupca zatitraju, a taj je stupac pravi izvor tonu.



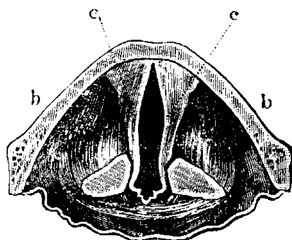
Sl. 66. Svirala s udarajućim jezičcem.



Sl. 67. Svirala sa slobodnim jezičcem.

„Slobodan jezičac" (sl. 67.) se njiše kroz otvor komorice tamo i amo, ne tičući se ništa krajeva. Kod harmonike se i sličnih joj instrumenata upotrebljava slobodan jezičac, dok kod orgulja upotrebljavaju prvu vrstu. Ako se titraji jezičca podudaraju s titrajima uzdušnoga stupca u svirali, ton je vanredno čist i jak.

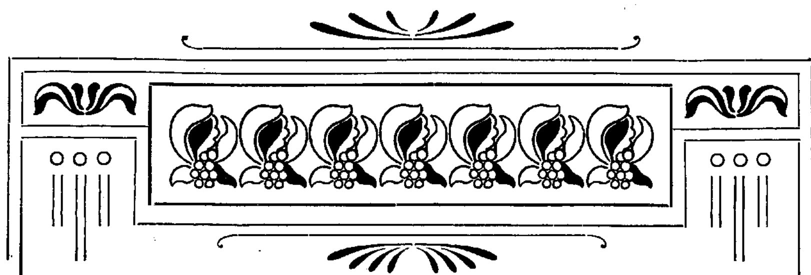
No daleko najsavršeniji instrumenat na jezičac bez sumnje je organ govora u grkljanu. Kod čovjeka je baš iznad dušnika (trachea). Na gornjem su kraju dušnika elastične opne, koje otvor dušnika gotovo posvema zatvaraju. Ako se uzduh iz pluće (mijeh) tjera kroz uski procjep, koji ostaje izmedju obje opne, one zatitraju. Mijenjajući svoju napetost, mijenja im se i brzina titranja, a po tome i visina tona. Uzduh u usnoj šupljini u neku je ruku orman za resonanciju, koji tonove opnica pojačava, ali ih inače ne mijenja po visini. Meki i jasni zvek glasa čovječjega, komu nema premca ni iz daleka medju instrumentima praktične muzike, zavisi u prvom redu o tome, da se procjep izmedju opni u odredjenom tempu posvema zatvori. Kad miruje organ govora, izgleda kao u slici 68. Kad se čovjek prehladi, glas mu je hrapav.



Sl. 68. Organ govora.

Po Helmholtzu to dolazi od toga, što pahuljice sluzi zapanu u procjep izmedju opnica; sa zrcalom mogu se one za grkljanom i vidjeti, u opće se s njim mogu vidjeti sva gibanja organa, kad pjeva, govori ili kašlje. Gdjekoji ljudi govore tankim, neprirodnim glasom („Fistelstimme"). On može po mišljenju Helmholtzovu tijem postati, da se na stranu povuče vrsta sluzi, koja je u zdravu stanju organa ispod opnica, pak ih otešćava. Tim postaju rubovi opnica oštriji, a težina njihova manja, dok im elascititeta ostaje jednaka. Posljedica je, da brže titraju i daju više tonove. I izmedju glasa muškarca na jednoj, a žene i djeteta na drugoj strani dosta je velika razlika u visini tonova; uzrok je tomu, što je organ u muškaraca veći nego u žena i djece, navlastito su protege procjepa veće. U doba puberteta organ se govora neobično brzo razvija i poradi toga opažamo u to doba poznatu promjenu glasa u mladih ljudi („mutiranje glasa"). Spomenusmo, da je organ ljudskoga govora daleko najsavršeniji muzikalni instrument. Zašto? Opnice organa imaju divno svojstvo, da mogu brzo i točno mijenjati svoju napetost, svoj oblik i širinu procjepa. K tomu dolazi još resonancija u usnoj šupljini, koja daje ljudskomu glasu onu savršenu njegovu mekoću i punoću. Vježbanjem se ova svojstva mogu razviti i usavršiti toliko, da ovaki glas zna zanositi svojim pjevanjem cio svijet.





IV.

Muzikalni tonovi i zvek.

Muzikalne skale. — Zvek i boja zveka. — Konsonancija i disonancija. — Suzvučenje. — Resonatori. — Harmonični viši tonovi. — Treptanje tonova.

1.

Dosta smo spremni, da bacimo duševno oko na najljepšu i najsilniju umjetnost — na glazbu ili muziku!

Što radi glazbenik s tonovima, da njihovom pomoću postizava tolik učinak na ljudsku dušu svojom „kompozicijom?“ Ova nam riječ već daje odgovor: on ih sastavlja ili jedan za drugim, ili njih više zajedno po odredjenim pravilima za vrijeme, za visinu, za jakost i za boju. U svakome glazbenom djelu možeš razmotriti tonove ili po tom, kako dolazi jedan iza drugoga, ili pak po tom, kako je njih više sastavljeno u isti mah. Gibanje zasebičnih tonova zajedno s mijenjanjem njihove visine, njihova trajanja, njihovim naglašivanjem ili ritmom daje ono, što zovemo „melodijom“ u glazbenu djelu. Sastavljanje pak tonova, njihovo miješanje u isto doba daje cio niz konsonancija i disonancija ili akorda, koji se izvode po odredjenim zakonima, a u tome stoji „harmonija“ glazbena djela.

No u jednom i u drugom slučaju glazbenik ne će i ne smije da upotrebi sve tonove izmedju granica sluha (isp. str. 88): izmedju visina upotrebljenih tonova mora da postoje izvjesni odnošaji, koji odredjuju visinu jednoga upotrebljenoga tona spram drugoga unutar nekoga razmaka u njihovoj visini. Tonovi u svom prijelazu od dubokih u visoke i obrnuto mogu se dakle u neku ruku ispo-

*

rediti sa stubama na ljestvama, koje takodjer u jednakim, ili nejednakim razmacima dolaze jedna iza druge. I u muzici upotrebljeni tonovi čine isprekidanu ljestvicu — po starodavnom se običaju zove zaista „muzikalna skala ili ljestvica — (la gamme, Tonleiter) ili pak cio niz ljestvica.

Te muzikalne ljestvice, u kojima jedan ton smije da dolazi iza drugoga samo po nekom odredjenom zakonu, a taj se izrazuje točno brojevima, čine fizikalnu osnovu moderne muzike. Te ljestvice upotrebljavaju glazbenici, da sastavljaju svoje melodije i akorde, koji ih prate, držeći se pri tom stalnih zakona, kojih ne odredjuje nauka o tonovima (akustika), nego umjetnost muzikalna ili, ako hoćete, nauka muzikalna.

Po kojem se zakonu ravna daljina pojedinih stuba u tim muzikalnim ljestvama iz carstva zvukova i koji im je zajednički značaj? Jesu li i kod njih pojedine stube jednako razdaleke, kao kod običnih ljestvî, ili su možda nejednako razdaleke? Ako su pak nejednako razdaleke, po čemu im se ravnaju te daljine? To su pitanja, na koja smo rad ovdje odgovoriti.

Muzikalna skala ima samo osam stuba, svaka je stuba jedan ton: tonovi idu jedan za drugim od nižega k višemu, ili obrnuto. No svih je ovih osam tonova ipak vezano na neke granice: svi su smješteni izmedju dva skrajnja tona, koji imaju to karakteristično svojstvo, da je najviši izveden baš točno dvostrukim brojem titraja najnižega. Taj najviši ton je osma stuba na ljestvi i po tome se veli, da je jedan skrajnji ton „oktava" drugoga: jedan je „niža", drugi „viša oktava". No kao što možeš obične drvene ljestve nadograditi na gornjem i na donjem kraju, tako možeš i muzikalnu ljestvicu od osam stuba nadogradjivati: uzmeš li na pr. osmi ton za ishodište, možeš opet načiniti osam stuba od tonova, koji su jedan od drugoga po visini baš točno toliko razdaleko, kao i u prvoj ljestvici. Čudno je djelovanje dogradjene ljestvice na uho: pjevaš li ih ili sviraš, ostavljaju u uhu učinak posvema sličan učinku, koji je izveden nizom predjašnje ljestvice. Svaka melodija, sastavljena od nekoga reda tonova iz prve ljestvice, sačuva posvema svoj karakter, ako je pjevaš ili sviraš pomoću tonova istoga reda u drugoj.

Jasno je, da mogu ovako dalje nadogradjivati muzikalne ljestve, ako svagda dodam po osam stuba, razmaknutih kao u prvoj, na gornjem, ili pak na donjem kraju: muzikalna je skala neograničena, ali sastoji od posvema jednakih odjeljaka, a u svakom ima osam stuba.

No kolika je daljina stuba u svakom odjeljku? Kod fizičnih su ljestvî stube redovito jednako razdaleke, kod muzikalnih pak svagda nejednako razdaleke! Svaka stuba ima poradi toga i svoje posebno ime. Stube se označuju po francuskom načinu, idući od najniže do najviše, slovkama:

ut re mi fa sol la si

a osma opet slovkom *ut*.

Po starijem se načinu označuju stube slovima:

C, D, E, F, G, A, H, c.

Zanimljivo je podrijetlo tih imena. — Redovnik benediktinski, Guido od Arezza, izabrao je slovke iz latinske himne, koja se je pjevala u crkvama u slavu sv. Ivana. Evo joj riječi:

Ut queant laxis *Re*sonare fibris
*Mi*ra gestorum *Fa*muli tuorum,
*Sol*ve polluti *La*bii reatum,
Sancte Joannes.

Dugo su se vremena zadovoljavali ovim imenima za prvih šest tonova (stuba); sedmi ton *(si)* nije imao posebnoga imena. To je ime dao sedmoj stubi u ljestvici Francuz Lemaire g. 1684. Oznaka slovima potječe još iz starih grčkih vremena. Danas je upotrebljavaju Slaveni, Englezi i Nijemci.

Poradi velike sličnosti u djelovanju na uho dobili su i tonovi svih viših i nižih odsječaka skale ista imena, samo se viša oktava osnovnoga tona *C* bilježi slovom *c*, a prema tome i ostali tonovi ovoga odjeljka malim pismenima istoga imena *d, e, f, g, a, h,* a oktave od *c* se bilježe s c_1 (čitaj: ton mali c jedan), c_2, c_3 i t. d. Obrnuto pak niže oktave od C imaju imena C_1 (čitaj: ton veliki C jedan), C_2, C_3 i t. d.

Treba istaknuti, da se za ishodište gradjenju muzikalne ljestvice može uzeti ton s bilo kojim brojem titraja u sekundi, no u praktičnoj se muzici pokazala potreba, da se u gradjenju podje od izvjesnoga tona s odredjenim brojem titraja u sekundi, koji je dogovorom odredjen; to je ton sa 435 titraja u sekundi, a ime mu je a_1. Daljina se pojedinih stuba u našoj muzikalnoj ljestvici odredjuje, ako se isporedi broj titraja svakoga njezina tona s brojem titraja odabranoga osnovnog tona („tonica“ mu je ime u muzici). Omjer izmedju oktave i osnovnoga tona je prema tomu $2:1 = 2$.

jer oktava čini baš dvostruki broj titraja spram osnovnoga tona; tomu su kvocijentu (2:1) dali ime „razmak“ ili „interval“ (i to muzikalni). Prema tomu se i govori u muzici: broj 2 mjeri interval oktave; ako dva tona imaju istu visinu, zovu ih muzici „unisono“; oni su izvedeni, kako znamo, jednakim brojem titraja; dakle se govori: broj 1 mjeri interval unisona, ili broj 1 je interval unisona.

Za svih 8 stuba u ljestvici, uzima većina fizika danas ove intervale:

Interval:	Ime intervala:		Vrijednost intervala:
C—C	unisono	=	1
D—C	sekunda	=	$^9/_8$
E—C	terca	=	$^5/_4$
F—C	kvarta	=	$^4/_3$
G—C	kvinta	=	$^3/_2$
A—C	seksta	=	$^5/_3$
H—C	septima	=	$^{15}/_8$
c—C	oktava	=	2

Broj $^9/_8$ ne kazuje ništa drugo, nego da ton *D* izvrši $^9/_8$ titraja, dok odabrani osnovni ton izvrši jedan titraj. Ako na pr. osnovni ton C u svakoj sekundi izvrši 128 titraja, izvrši ton *D* njih 144 u svakoj sekundi; dok osnovni ton *C* izvrši jedan titraj, izvršit će na pr. ton G njih $^3/_2$ t. j. on će u svakoj sekundi izvršiti 192 titraja itd.

Prema tomu evo u prijegledu titrajnih brojeva za svih osam oktava muzikalne ljestvice, koje se u praktičnoj muzici upotrebljavaju:

	C_2	C_1	C	c	c_1	c_2	c_3	c_4
C	16·17	32·33	64·66	129·3	258·7	517·3	1035	2069
D	18·15	36·29	72·58	145·2	290·3	580·7	1161	2323
E	20·37	40·74	81·47	162·9	325·9	651·2	1304	2607
F	21·58	43·16	86·31	172·6	345·3	690·5	1381	2762
G	24·22	48·44	96·89	193·8	387·5	775·1	1550	3100
A	27·19	54·37	108·75	217·5	**435.0**	870·0	1740	3480
H	30·52	61·03	122.07	244·1	488·3	976·5	1954	3906

Oktava c_1—h_1 zove se obično „oktava ženskoga glasa“, a oktava od *c—h* „oktava muškoga glasa“ ili takodjer „mala oktava“, jer je u njima sredina ženskoga i muškoga grla. Oktava *C—H* je „velika oktava“ muzike; C_1—H_1 je „kontra-oktava“, a od C_2—H_2 ide „subkontra-oktava“ glazbenika.

Lako je pomoću bilo kojega osovnoga reda u ovoj tabeli izračunati, da stepenice u našoj skali nisu jednako razdaleko. Ako naime metneš u omjer titrajne brojeve po dvaju zasebičnih tonova u ljestvici, pa taj omjer zaista izračunaš, dobit ćeš ove brojeve:

$$\underbrace{C\quad D}_{9/8}\underbrace{\quad E}_{10/9}\underbrace{\quad F}_{16/15}\underbrace{\quad G}_{9/8}\underbrace{\quad A}_{10/9}\underbrace{\quad H}_{9/8}\underbrace{\quad c}_{16/15}$$

Imamo intervala trojake veličine: tri puta dolazi najveći interval $^9/_8$ *(C—D, F—G* i *H—A)*, dva puta nešto manji interval $^{10}/_9$ *(D—E* i *G—H)*, i opet dva puta najmanji interval $^{16}/_{15}$.

Ovako sagradjena muzikalna skala zove se „diatonička ljestvica". Nije ovdje mjesto, da ulazimo dalje u praktičnu muziku. Tek treba da spomenemo, kako kompozitorima nije dosta ova muzikalna skala, jer bi melodije, sastavljene samo od ovih tonova, imale jednoličan značaj (značaj monotonije), koji se ne bi ni malo podudarao s različnošću utisaka na dušu, koje treba glazbom izvoditi. Kako bi uvećali svoja pomagala, uvedoše u praktičnu muziku novih skala, u kojima su razmaci pojedinih stepenica donekle drukčiji, nego u našoj diatoničkoj ili, kako takodjer kažu, prirodnoj ljestvici. U istom glazbenom komadu preskaču iz jedne vrste skala u drugu po odredjenim pravilima glazbene umjetnosti, a tomu daju ime „modulacija". „Hromatična skala" na pr. obuhvata u svem 13 tonova:

C Cis D Dis E F Fis G Gis A Ais H c

Pozoran će čitatelj s mjesta opaziti, da su ondje, gdje su u prirodnoj ljestvici bili veliki intervali $^9/_8$ i $^{10}/_9$, na pr. izmedju *C* i *D*, uklopili po jedan novi ton, nešto viši od prednjega (za $^{16}/_{15}$), kojemu su i ime načinili od imena prednjega tona, dodavši mu slovku *is*. Tako je došao medju *C* i *D* još ton Cis, medju A i H ton Ais i t. d.

No jasno je, da se medju *C* i *D* može takodjer uklopiti ton, koji je od *D* niži za $^{16}/_{15}$; ime su tomu tonu načinili od *D*, dodavši mu slovku *es*, a tako i kod svih drugih tonova. Dobili su tim ovu hromatičnu skalu:

C Des D Es E F Ges G Aes(As) A Hes H c,

koja se ne podudara sasvim s predjašnjom, jer bi jednostavan račun pokazao, da na pr. tonovi Cis i Des nisu jedan te isti ton, nego da postoji u njihovim titrajnim brojevima mala razlika. Na glazbenim instrumentima, kao što je glasovir, gdje su tonovi već ustaljeni konstrukcijom, ipak se izjednačuju; prirodno čisti *Cis* i prirodno čisti

Des na pr. treba da daje na glasoviru ista žica. Tim postaje skala na takim instrumentima neprirodna. Kako bi razliku izmedju prirodne čiste skale i ove neprirodne što više umanjili, mijenjaju muzici gotovo svim tonovima u ljestvici nešto malo visinu i tu malu promjenu zovu „temperatura." Tako promijenjena skala od 13 tonova nema poradi toga gotovo nigdje čistih intervala, pa ju i zovu „temperirana hromatična skala." Treba istaknuti, da ta skala nije drugo, nego kompromis, koji je bez sumnje mnogo na štetu djelovanju muzike na čuvstvo. Temperirana skala jednostavno je — kriva skala, na koju su se uši civiliziranih naroda priučile!

Na instrumentima, koji nemaju stalnih tonova, kao što je na pr. violina, moći će savršen umjetnik čiste akorde prirodne skale hvatati, a za njih se zna, da na dušu čovjeka mnogo silnije djeluju, nego temperirani. Helmholtz je to i pokazao na jednom instrumentu, gdje je udesio tonove s čistim prirodnim intervalima (unutar jedne oktave imao je 31 ton!); otegnut akord na instrumentu s temperiranom skalom hrapav je, mutan, drhtav i nemiran, dok je isti akord kod čiste prirodne skale pun, sit i blagoglasan. Ne će li možda savršen umjetnik na violini, kaki je na pr. bio naš Krežma, i sâm, možda i nehotice, natrag pasti u prebiranje čistih i prirodnih akorda? Silni uspjeh i dojam takih umjetnika ima možda baš u tome svoj glavni uzrok.

Što vrijedi za violinu, a osobito za kvartet s guslama, vrijedi i za savršena pjevača i pjevačicu, navlastito pak za savršene pjevačke kvartete, kaki je na pr. češki „Hlahol." I njihov se veliki uspjeh možda može tim tumačiti, da se vraćaju na čiste prirodne akorde.

Moderne muzikalne skale kulturnih naroda postale su malo po malo na osnovi fizikalnih i fizioloških zakona: one su proizvod kombinacije ovih dviju vrsta zakona, a mijenjali su ih običaji i uzgoj uha malo po malo. Zna se, da je skala starih Grka imala 20 tonova, da su se njihovu uhu mílili intervali, koje moderna muzika odbacuje, a zna se i to, da slavenski narodi imaju još i danas svoju posebnu skalu, različnu od opće prihvaćene skale u muzici i opet različnu od skale kineske, perzijske, japanske i tatarske. I Helmholtz misli, da sustav skalâ i način njihova harmoničkoga sastavljanja nije osnovan samo na nepromjenljivim prirodnim zakonima, nego da je baš nasuprot tomu posljedica estetskih principa, koji su se mijenjali s postepenim naprednim razvijanjem ljudskoga roda, a mijenjat će se još i dalje.

Kako bi zanimljivo bilo u ovo područje malo dublje povesti prijaznu čitalicu i čitaoca, navlastito s obzirom na istraživanja našega neumornoga Kuhača o muzici Hrvata i Srba, ipak nam je ovdje stati i dalje prikazivanje tih stvari ostaviti drugim rukama. Tek svraćam pažnju čitatelja na ovo prezanimljivo područje i na osnovni rad Kuhačev na njem.

Nama je krenuti na drugu stazu na našem izletu u područje muzike.

2.

Zvek i boja zveka. Na tonovima muzikalnih instrumenata i osobito grla čovječjega ima nešto, što nas mora osupnuti na osnovi našega dosadanjega znanja o njima. O čem zavisi osjet tona u našem uhu? Po svem, što do sada znamo, samo o broju zvučnih valova u uzduhu, koji u svakoj sekundi udaraju o bubnjić — taj broj odredjuje visinu tona — i o veličini zamaha ili amplitude uzdušnih drobnica, koje titraju: što je veći zamah, to se više ugne i bubnjić, to je veća jakost tona. No tko ne zna, da svačije gotovo uho savršeno razlikuje tonove različnih instrumenata sve ako i imaju posvema jednaku visinu i istu jakost? Ton *a* violine nema istoga značaja, kao ton *a* svirale, ili glasovira, ili kao ton *a* izveden od čovjekova grla! Značaj je pače toliko različan, da će i slijepac s mjesta pogoditi: to je ton *a* glasovira, drugo je ton *a* flaute, a treće je ton *a* čovjekova grla. Još više: ni na istom instrumentu ne zveči ton *a* jednako, ako ga drukčije izvodiš. Najsavršeniji umjetni instrumenat — violina — lijepo to pokazuje. Ona ima četiri žice za tonove *e, a, d, g*. Ton *a* druge žice, koja se njiše u čitavoj svojoj dužini, kad ga daje, nije istoga karaktera s istim tonom *a*, kad ga dobivaš četvrtim prstom na žici *e!* A tko ne zna, kako se razlikuju čovjekova grla jedno od drugoga, kad pjevaju tonove iste visine i iste jakosti?

Ovo je u protivurječju s dosadanjim našim znanjem o tonovima i zaista se dugo nije znalo za uzrok ovomu pojavu. Kako bismo došli do jasna shvatanja toga uzroka, treba da se taknemo jednoga osobitoga pojava u carstvu zvukova, koji vežemo uz ime „suzvučenje".

Podsjećamo čitatelje na lijepe pokuse s napetim žicama na spravi, kojoj dadosmo ime sonometar ili monokord (isporedi str. 90.). Nadjosmo, da napeta žica ne mora svagda titrati kao jedna cjelina, nego da se kod zgodnoga podmetanja sedla razdijeli u više jednakih odsječaka, kojih svaki za se titra. Iz napete strune mo-

gosmo tako pored osnovnoga njezina tona dobiti još cio niz viših tonova, koji imaju taj osobiti značaj, da su im brojevi titraja u sekundi 2, 3, 4, 5 . . . puta tako veliki, kao u osnovnoga tona. Dajemo im poradi toga i posebno ime „harmonični tonovi“ zadanoga osnovnoga tona. Ako na pr. brojenje titraja pomoću sirene pokaže, da osnovni ton napete žice ima baš 100 titraja u sekundi, pa ako onda žicu baš u sredini sedlom podupremo, njihat će obje njezine polovine svaka za se, i izvodit će ton od 200 titraja u sekundi; to je po našoj oznaci „prvi“ harmonični ton našega osnovnog tona, a muzik ga zove „oktavom“ zadanoga tona. Ime „harmonični tonovi“ bez sumnje dolazi otuda, što se opazilo, da prvi, treći i četvrti harmonični ton, kad zveči zajedno s osnovnim, izvodi ugodan osjećaj u uhu: muzik bi rekao, da daje „konsonantan akord“ ili „konsonanciju.“

Nisu napete žice jedini izvor tonova, koji uz osnovni ton može dati u zgodnim prilikama i po koji harmonični ton; podsjećamo samo na tonove svirala: svaka svirala daje prvi, drugi . . . harmonični ton, kako jače puhneš u nju. No najlakše ćeš ih svakako dobiti i čuti, ako na sonometru napetu žicu razdijeliš sedlom u polovine, trećine, četvrtine itd.: ovi dijelovi daju, kad titraju, cijeli niz harmoničnih tonova.

Pred nama je sonometar, na kojem su usporedo napete dvije žice jednake dužine i debljine i od iste tvari. Ako ih još i jednako nategnemo, dat će tonove jednakoga broja titraja u sekundi, t. j. jednako visoke tonove, pak uhom ne ćeš moći ni razabrati, da titraju dvije žice, jer čuješ samo jedan ton, koji će tek nešto oslabiti, ako ustaviš jednu žicu.

S ovako priredjenim sonometrom izvodimo veoma zanimljiv pokus: Na sredinu jedne žice namjestimo papirnata konjića, a preko druge prijedjemo gudalom, da je potresemo, kako bi dala svoj ton. Što se dogodi? Konjić na prvoj žici zatrepta i za čas ga je žica bacila sa sebe! Titraji žice, koja zveči, prenosili su se dakle preko drva na drugu žicu i potakli i nju, da zatitra; pojedini su udarci na tu žicu bili doduše veoma slabi, no budući da su obje žice bile nategnute na unisono (t. j. na isti ton), mogli su se toliko ujačati, da su napokon zbacili konjića sa žice, koju gudalom ni ne dotakosmo: „žica sama zaigrala!“ O tom ćeš se lako osvjedočiti. Uguši ton prve žice dotakavši je prstom: čut ćeš dalje isti ton, samo nešto slabije, od druge žice, koja je sama zaigrala!

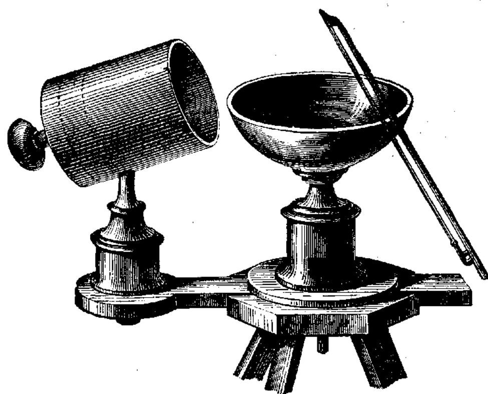
No sad tek dolazi najzanimljiviji dio pokusa: popustiš li nešto malo jednu žicu, nestalo je unisona medju njima. Ako sada ponoviš predjašnji pokus, uzalud ćeš nastojati, da zbaciš konjića s druge žice ma kako jako gudalom prevlačio po prvoj: ma kako veliko bilo sada gibanje žice, ona svoga gibanja ne pronosi na drugu!

Još se bolje ovaj pojav može pokazati s dvije akustične vilice, koje su gradjene na isti ton. Postavimo ih na stol 1—2 metra razdaleko, a otvore njihovih ormana za resonanciju obrnemo jedan drugomu: jednu žestoko potresemo gudalom, a druge se ne taknemo. Ustaviš li ton vilice, koja zveči, čut ćeš ga oslabljena, gdje zveči dalje od druge vilice. Kroz uzduh i drvo prenijeli su se titraji jedne vilice na drugu, i ona je zazvečila istim tonom kao prva. No kako jednu vilicu oteretiš (na pr. malim novcem), nestalo je izmedju njih unisona, ali je nestalo i utjecanja jedne vilice na drugu. Ona neznatna promjena u broju titraja, što je izvodi novac, dosta je, da uništi simpatiju, koja je postojala izmedju obje vilice: druga ne će više da odgovara prvoj. Skini novac, i druga će vilica opet odgovarati prvoj. Još je ljepši ovaj pokus: Jednu vilicu skinem s ormana za resonanciju, pa ju potresem, da zveči. Bez ormana joj je ton veoma slab i jedva ga čuješ. No kako ju dosta približiš drugoj tihoj vilici, čut ćeš pun i mek ton, koji dolazi od druge vilice.

Ton se dakle prenosi kroz uzduh i drvo na drugo tijelo i podražuje ga na titranje, ali samo onda, ako je ovo drugo tijelo tako gradjeno, da izvršuje jednake titraje, kao i prvo. Takomu prenošenju tona dajemo ime „suzvučenje“ i dolazimo do veoma važna zaključka, da se suzvučenje javlja, kad titraji obiju tjelesa traju jednako dugo: kad su „sinhroni.“

Ovo jednako trajanje gibanja (sinhronizam) i drugdje u prirodi izvodi osobite pojave. Evo nekoliko primjera. Ako dvije ure njihalice, kojima njihanja jednako dugo traju, vise na istom duvaru, pa jedna ura ide, a druga stoji, poći će i druga ura nakon kratkoga vremena na oko sama od sebe; kucanje prve ure prijeći će kroz duvar na drugu i potjerat će ju. Svaki pojedini kucaj potiče drugo njihalo doduše samo na neizmjerno malen njihaj, kojega mi i ne vidimo, no ono dolazi na kraj toga svoga neizmjerno malenoga njihaja baš u zgodan čas, da dobije ponovan poriv od kucanja prvoga njihala. Kako se ti porivi sveudilj ponavljaju u zgodnu času, sumiraju se napokon tako, da uru potjeraju. Tako može i čaša zazvečiti od pjevana tona, a krepak glas orgulja može da razmrska u

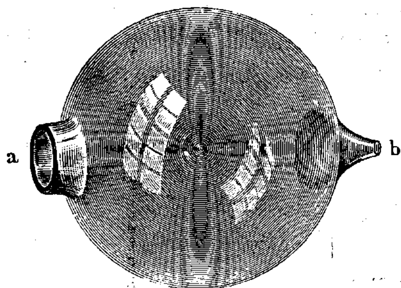
zgodnim prilikama staklo na prozoru, ako se uzdušni potresi od tona orgulja u svom trajanju posvema podudaraju s titranjima, koja može da izvodi staklena ploča prema svojoj veličini i debljini. No i obrnuto se može dogoditi: ton zvona može potaknuti i stupac uzduha, koji je u kakvoj cijevi sasma miran, da mu odgovara istim tonom i tim dabome ton zvona dosta ujača, ali stupac uzduha mora da bude take dužine, da može odgovarati zvonu. To se lijepo pokazuje ovim pokusom (sl. 69.). Pred nama je zvono, koje izvršuje 256 titraja u sekundi; zvučni val, što ga u uzduhu izvodi, dug je 130 centimetara (ispr. str. 84.). Ton je čist, ali nije jak. No ako primakneš otvor široke cijevi jednomu odjelku zvona, koji titra, ton ojača, ali ostane mek i muzikalan. Ako se cijev primiče i odmiče, raste i pada jakost tona dosta jako. Naknadiš li ovu cijev drugom otvorenom na oba kraja, koju možeš produljiti, pak je zaista izvučeš, koliko treba, nabuja jakost tona kao i prije. Ako je još više izvučeš, ton je opet slabiji. Za zvono drugoga tona, naći ćeš opet drugu dužinu stupca, da mu se ton najviše ujača. Za naše je zvono od 256 titraja dužina uzdušnoga stupca jednaka 32·5 centimetara, a to je baš četvrtina od dužine njegovoga čitavoga vala. U našem je pokusu pojav suzvučenja uzdušnoga stupca upotrebljen na to, da ujača ton zvona, a takvo se ujačavanje tona zove u opće „resonancija“. Helmholtz je uzdušnim stupcima, koji ovako odgovaraju na pojedine glasove, dao posebne oblike i prema tomu i posebno ime „resonatori“; taki resonator pokazuje naša slika 70. Umjesto valjkastoga dobio je uzdušni stupac oblik kugle. Helmholtzovi su resonatori šuplje kugle od stakla, ili mjedi, a na obje su strane otvorene; *b* dolazi na uho, a zvučni valovi ulaze na široki otvor *a* u resonator. Ako je u kojoj smjesi tonova i onaj ton, na koji odgovara resonator, taj će se ton čuti znatno pojačan spram ostalih, pa tako ga nedvoumno prepoznajemo u smjesi. Vidjet



Sl. 69. Suzvučenje uzdušna stupca.

ćemo poslije, kako je umno Helmholtz znao upotrebiti resonatore da riješi protivurječje, koje smo na čelu ovoga članka istakli.

No povratimo se našemu sonometru! Znajući, da mirna žica sama zaigra samo onda, ako se njezini titraji po svom trajanju posvema točno podudaraju s titrajima žice, koja zveči, izvedimo ovaj zanimljivi pokus. Prva žica zveči u čitavoj dužini svojim najnižim osnovnim tonom. Druga je mirna žica raspolovljena sedlom. Njezin osnovni ton izvršuje dakle dvostruki broj titraja u sekundi i medju prvom i drugom žicom nema unisona. No ako na raspolovljenu i mirnu žicu metnemo konjiće, vidjet ćemo, da će ih druga žica s mjesta zbaciti, čim zazveči prva čitavom svojom dužinom. Novo protivurječje! Žice nisu unisono, pa ipak titraji prve prelaze na drugu. Kako da riješimo to protivurječje s pokusima izvedenima čas prije? Stvar se s mjesta razjašnuje, ako uzmemo, da žica, titrajući kao cjelina, u isti mah titra i kao polovina t. j. da je osnovnomu tonu žice primiješan i ton s dvostrukim brojem titraja. Na ovaj drugi ton odgovara druga mirna žica. Ponoviš li pokus tako, da je sedlo od druge žice odrezalo baš trećinu, dat će ti ta žica ton s trostrukim brojem titraja spram čitave žice. Namjesti na njoj konjiće na trbušce i čvor, pak ćeš opet vidjeti, da će konjići s trbušaca pasti, a na čvoru će ostati, ako prva žica zazveči u svojoj čitavoj dužini. Njezinomu osnovnom tonu primiješan je dakle i ton s trostrukim brojem titraja i na taj ton odgovara druga žica.



Sl. 70. Helmholtzov resonator.

Dodjosmo tako do nove veoma važne spoznaje: Kad zveči napeta žica, ne daje ona samo svoj osnovni ton, nego uz njega i prvi, drugi, treći . . . harmonični ton, ali tako slabo, da se oni obično kraj jakoga osnovnoga tona napose ne čuju. Ono, što naše uho čuje, kad žica zveči, nije dakle jedan ton, nego smjesa od jednoga jakoga (osnovnoga) tona i više slabijih harmoničnih tonova. Toj smjesi tonova dajemo ime „zvek“ (Klang). Gotovo je nemoguće, da bi žica titrala kao cjelina, a da se ujedno ne razdijeli u više ili manje odjeljaka: titranja se odjeljaka jednostavno slažu na titranja čitave žice, kao što se mali valovi na vodi

penju po hrptu velikih. Dalje je iztraživanje pokazalo, da nisu žice, koje titraju, jedini izvor tonova, gdje su harmonični tonovi u pratnji osnovnoga tona; tonovi svirala, tonovi ljudskoga grla imaju mnogo harmoničnih tonova primiješanih osnovnomu tonu: ni oni dakle nisu jednostavni pravi tonovi, nego smjesa od osnovnoga tona s harmoničnim višim tonovima. Ako dakle ime „ton“ ostavimo za učinak jednoga pravilnoga titranja s odredjenim brojem titraja u sekundi, dolazimo do spoznaje, da muzikalni tonovi svih instrumenata glazbenih i ljudskoga grla zapravo nisu tonovi, nego „zvekovi“, t. j. smjesa sastavljena od mnogo jednostavnih tonova. Mjesto riječi zvek, mogli bismo reći i „sastavljen ton“.

Pa je li naše uho zaista tako nesavršen organ, da ni uz najbolju vježbu ne odaje tih primiješanih tonova? Nije! Tko ima nešto muzikalne naobrazbe, pa pozorno sluša žicu, koja zveči, lako će i čuti, da joj ton nije jednostavan: osim osnovnoga njezina tona, na pr. tona *C*, koji zavisi o njezinoj dužini i napetosti, uho jasno razbira, osobito pri kraju zvečanja oktavu *c*, kvintu te oktave *g*, onda drugu oktavu c_1, i tercu od ove druge oktave e_1. Lakše razbira tonove *g* i *e*, a nešto teže obje oktave *c* i c_1 poradi toga, što su oni tonovi po svome muzikalnom karakteru slični osnovnomu, pak se s njim više stope.

No zato se hoće osobite pažnje i vježbe, koju ćeš rijetko naći i u školovana glazbenika. Helmholtz je to dokazivao i dokazao. Talenat se glazbenika naime u tom smjeru nije nikada vježbao. On raspoznaje vježbom mnoge učinke tonova, koje u svojem umjetničkom radu treba, ali umjetnost ne ište od njega nikada, da zvek kojega instrumenta rastavi u njegova počela, t. j. u jednostavne tonove, iz kojih je sastavljen. Ta je zadaća zapala fizičara, koji je taj posao izvršio umnim metodama, o kojima će čas kasnije biti govor. No iz svoga iskustva može pisac reći, da i uho, nevješto muzici, može uz nešto pažnje i vježbe to učiniti, ako zna, na što da pri tom svrati svoju pažnju. Evo, što sâm Helmholtz u svome klasičnom djelu o tome veli: „Treba opaziti, da sama muzikalna naobrazba ne donosi sobom svojstva, da lakše i sigurnije prepoznaš sporedne tonove. Tu se više radi o nekoj snazi duševne apstrakcije, o nekom vladanju nad svojom pažljivošću, nego o muzikalnoj vještini. Uvježban muzik ima dakako bitno olakšanje; on si lako predoči tonove, koje nastoji osjetiti, dok ih čovjek nevješt muzici mora sveudilj slušati, da ih drži u pameti.“ Preporučamo osobito glasovir i harmonij za studij

harmoničnih tonova, jer su u tih instrumenata primiješani harmonični tonovi dosta jaki.

No ako i jest istina, da uho dosta teško raspoznaje tonove, koji su kod svakoga zveka u pratnji osnovnoga tona, treba na drugoj strani i to istaknuti, da nam uho u drugom obliku savršeno odaje, da su zvekovi instrumenata tek smjesa osnovnoga tona sa slabijim „sporednim tonovima." Ova smjesa naime odredjuje ono, što zovemo „boja zveka" (engleski: quality, francuski: timbre, njemački: Klangfarbe) i po čemu mi tako savršeno prepoznajemo zvekove različnih instrumenata.

Samo pomoću miješanja visokih i niskih sporednih tonova s osnovnim tonom možemo jedan glazbeni instrumenat razlikovati od drugoga.

Mi razlikujemo na pr. ton *A* glasovira od tona *A* violine tako savršeno samo s toga, što su sporedni tonovi kod jednoga instrumenta drukčiji nego kod drugoga, pak se s jednakim osnovnim tonovima obaju instrumenata sastavljaju i daju različne zvekove: nauka veli, da je „boja" njihova zveka različna. Helmholtz je to ime izumio, a uzeo ga je očito po analogiji iz nauke o svjetlosti. Jednostavna se boja ne da rastaviti u druge boje, jednostavan ton je rezultat jedne vrste titranja. „Smiješana boja" postaje miješanjem dviju, ili više jednostavnih različnih boja, a smjesu tonova, kakva postaje, kad se s osnovnim tonom smiješaju sporedni, nazvasmo zvekom; karakteru toga zveka dao je Helmholtz po toj analogiji ime „boja zveka."

Prema tomu, kaki su sporedni tonovi primiješani osnovnomu, u kakovu je odnošaju njihova jakost spram jakosti osnovnoga tona, ravna se svagda boja zveka. Uzrok pak, zašto nisu svagda isti sporedni tonovi smiješani s osnovnim, u tom je, što se izvori tonova na različit način potresuju.

I ovu ćeš tvrdnju lako potvrditi napetom žicom na sonometru. Ista naime žica imat će drukčiji zvek prema tomu, kako je potreseš na zvek. Neka bude na pr. napeta žica 100 centimetara dugačka; u sredini stoji dakle broj 50, trećina je dugačka $33^1/_3$, četvrtina 25, a petina 20 centimetara. Trgnimo žicu kod 50 cm, t. j. baš u sredini: zvek joj je mukao i mek; trgnimo je kod $33^1/_3$ cm, zvek se je promijenio; trgnimo je kod 25 cm, zvek joj je opet različan od prvoga i drugoga. No kako idemo dalje od sredine kraju, postaje „boja njezina zveka" punija, a zvek življi i oštriji. Što je tomu uzrok? Slavni profesor Thomas Young (1773—1829.) naučio nas je,

kako da riješimo to pitanje. On je naime dokazao: ako trgneš jednu točku napete žice iz stanja mirovanja, nestaje iz njezina zveka svih onih viših tonova, koji bi na onome mjestu imali svoj čvor. Mi smo na pr. trgli žicu kod 50 cm, i ona njiše kao cjelina. Prvi njezin viši ton — oktava — imao bi svoj čvor baš u točki 50 cm, jer žica daje oktavu, kad se kod titranja razdijeli u dvije polovine rastavljene čvorom u sredini. Lako je pokazati, da u zveku žice zaista nema toga prvoga višega tona. Da je on u njem, ništa mu ne bi smetalo, kad bi žicu na pr. gušćim perom utišali kod broja 50 cm, jer ta je točka za njega čvor. No što čujemo: čim utišamo točku 50 cm, uništi se zaista osnovni ton žice sasvim — ali se ne čuje ni prva, ni ikoja viša oktava njegova! Zajedno s prvom oktavom nestalo je iz zveka žice i svih drugih viših tonova, koji bi kod 50 imali svoje čvorove, a to su tonovi, kojima su titrajni brojevi četverostruki, šesterostruki, osmerostruki od titrajnoga broja osnovnoga tona: zvek je žice mukao i mek. Sasma drukčije stoji stvar, ako žicu trgneš kod 25 cm (četvrtina dužine!). Utišaš li je sada kod 50 cm, nestat će dabome osnovnoga tona sasvim, ali oktava ti njegova zveči puna i čista u uho! Kako nismo trgnuli točku 50, može se ondje načiniti čvor; on se i zaista načinio i obje polovine žice zveče jasno dalje, kad sam uništio njezino titranje kao cjeline. I tako bismo mogli nastaviti pokuse udarajući žicu kod 33 cm i kod 20 cm. Trgneš li je na pr. kod 33 cm, ispadaju iz zveka svi viši tonovi, koji bi ondje imali svoje čvorove, a to su u prvom redu drugi harmonični ton s trostrukim brojem titraja spram osnovnoga i onda tonovi sa šesterostrukim, deveterostrukim, dvanaesterostrukim brojem titraja. Trgnimo na pr. žicu (ili udarimo je tamo, ili prevucimo gudalo!) kod 20 cm, a utišajmo je kod 33 cm; drugi harmonični ton nije uništen, čuješ, da jasno i puno zveči, kad si uništio osnovni ton žice. Kako nisi žice udario kod 33 cm, mogao se tamo načiniti čvor i žica se je mogla razdijeliti na tri odjeljka, koji titraju.

Svi ti veoma lijepi pokusi, koje može s malo mara i troška svatko sâm ponoviti (a mi ih toplo preporučamo čitalicama i čitaocima, jer će u njima naći i zabave i pouke), dokazuju u jednu ruku, kako se jako mijenja boja zveka, ako iz njega ispanu neki sporedni tonovi, a u drugu ruku, da to ispadanje bitno zavisi od toga, gdje se žica potrese na zvečanje. Harmonični se tonovi žice prema tomu mogu unutar širokih granica ujačavati, ili oslabljivati: osnovni ih

ton može posvema prikriti, ali i obrnuto se može dogoditi, da njih posvema nadglasi koji osnovni ton. Udarac tvrdim tijelom pogoduje njihovu jačemu razvijanju, udarac mekim batićem ne pogoduje. Jakost im zavisi i o brzini, kojom se batić natrag povuče sa žice: po tom na glasoviru mnogo zavisi zvek žica o težini i elasticiteti batića. Helmholtz, koji je zapravo svu ovu lijepu nauku o zvekovima i boji zvekova stvorio, izračunao je pače jakost harmoničkih tonova, koji se javljaju kod različna udaranja žica. Evo samo jednoga primjera. Ako se uzme za jakost osnovnoga tona žice 100, bila bi jakost druga harmoničkoga tona (s trostrukim brojem titraja) samo 56·1, dakle nešto veća od polovine jakosti osnovnoga tona, kad je žicu povukao na stranu na točki, koja je za $^1/_7$ dužine udaljena od kraja žice. Kad je pak udario žicu batićem glasovira, koji se je žice doticao tri sedmine trajanja jednoga titraja njezina (a to je tek veoma mali dio jedne sekunde!), bila je jakost toga tona samo 9, dakle se gotovo sasvim uništio; no kad je doticanje batića umanjio na $^3/_{20}$ trajanja jednoga titraja, bila je jakost drugoga harmoničnoga tona već 357, a kad je žicu udario veoma tvrdim batom, narasla mu je jakost čak na 505, t. j. on je bio 5 puta tako jak, kao osnovni ton. Evo što sve čini batić, kojim se udara žica. Graditelji glasovira našli su iskustvom, da najljupkiji glasovi njihovih instrumenata postaju na srednjim žicama, ako je točka žice, o koju udara batić, od kraja daleko za $^1/_7$ do $^1/_9$ od dužine čitave žice, a Helmholtz je našao uzrok tomu: svi harmonični tonovi, koji imaju na trima mjestima svoje čvorove, pak se po tom u zveku žice javljaju, dobro se slažu s osnovnim tonom, šesti pak i osmi ton nemaju više suglasja (konsonancije) s osnovnim, pak ih treba ukloniti: oni su disonancije s osnovnim tonom; a to ćeš učiniti, ako udaraš batićem o mjesta žice, gdje bi oni imali svoje čvorove: oni sada ne mogu da postanu, a tim se isključuje i njihov štetonosni učinak na sveukupni zvek žice.

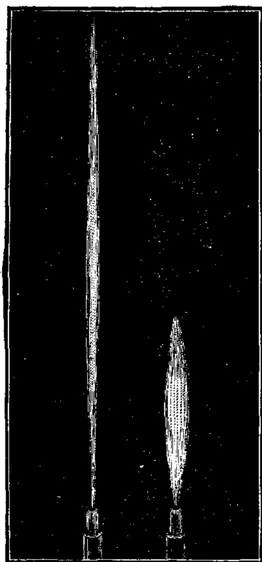
Kako se vidi, nauka o zveku otkriva cio niz tajni iz područja muzikalnih tonova i duševnomu nam se oku otvaraju novi, krasni vidici u carstvu tonova. Što bi bilo prirodnije, nego ući u tu ponosnu zgradu, koju je gotovo svu izgradio slavni Nijemac Helmholtz, i pregledati joj potanko sve odaje i kutiće: svagdje bismo našli po koji bijout. Ali za to ovdje nema mjesta, tek možemo svratiti pažnju svih, koji se za to zanimaju, na krasno djelo Helmhotzovo „Die Lehre von den Tonempfindungen", u kojem je sva svoja istraživanja i neobično lijepe metode svoga istraživanja razložio.

Tek neke rezultate, koji mogu svakoga zanimati, koji voli glazbi, nanizat ćemo ovdje, taknuvši se i metode istraživanja. Na pitanje, daju li svi izvori tonova zvekove s harmoničnim sporednim tonovima, odgovara Helmholtz: Ne. Ima zvučnih tjelesa, koja u nekim prilikama daju tonove, izvedene samo jednom vrstom titranja, koji se po tome i zovu „jednostavni tonovi." Akustična vilica na pr., koja titra pred ustima svirale, izvodi taki jednostavni ton bez ikakve primjese; tonovi flaute, pa ton samoglasnika *u* u čovjekovu glasu jesu doduše smjesa tonova, dakle zvek, no budući da su primiješani harmonički tonovi veoma slabi, jako su blizu jednostavnim tonovima. Istraživanje je takih tonova Helmholtzu pokazalo, da se oni mogu razlikovati medju sobom po jakosti i visini, ali u boji zveka ne pokazuju osjetljive razlike. Našao je Helmholtz i takih izvora tonova, kojima su zveci sastavljeni od osnovnoga tona i sporednih tonova, koji nisu harmonični spram osnovnoga; njihova boja zveka zavisi o stupnju njihove postojanosti i pravilnosti; ali taki su zveci malo ugodni uhu i slabo se upotrebljavaju u muzici. Amo idu zveci kovnih ploča, staklenih i kovnih zvonova i napetih kožica (opni, membrana). Dakle: 1. Jednostavni se tonovi, bez harmoničnih sporednih, medju sobom ne razlikuju po boji zveka i 2. Sastavljeni tonovi ili zveci, kojima sporedni tonovi nisu harmonični spram osnovnoga, imaju veoma različne boje zveka, ali nemaju značaja tako zvanih muzikalnih tonova. Kod ovih potječu po Helmholtzovim istraživanjima razlike u boji njihova zveka od broja viših harmoničnih tonova, smiješanih s osnovnim i od njihove medjusobne jakosti.

Sve je te rezultate Helmholtz utvrdio pokusima, i to pomoću svojih resonatora (isp. sl. 70. na str. 125.). Načinio si je cio niz takih resonatora različne veličine; svaki je prema množini uzduha u njem odgovarao samo na jedan ton, za koji je bio udešen. Tako je Helmholtz mogao svaki zvek rastaviti u njegove jednostavne tonove: akustična analiza zvekova.

Pored ove upotrebljavao je i optičku metodu za analizu tonova. Tako je lijepa, da se je moramo taknuti. Slučajno ju je otkrio Leconte u Americi kod jedne muzikalne večeri. Plameni u dvorani skakutali su ili treptali u taktu, koji se posve podudarao s muzikom, koju si slušao; osobito se to lijepo pokazivalo, kad bi se umiješali jaki tonovi cella (violoncello): harmoniju je glazbe mogao gledati gluhak! No obični plameni u uzduhu nemaju

take osjetljivosti za zvučne valove, koji idu kroz uzduh, nisu „osjetljivi plameni." „Pred nama gori — veli Tyndall — manje svijetao plamen svijeće; nema zvuka, bilo koje vrste, koji bi i najmanje na nj djelovao. Možemo vikati, rukama pljeskati, jaku sviralu pustiti da zveči, batom udarati o nakovanj, ili zapaliti smjesu kisika i vodika (koja žestoko prasne), ali plamen se ne će maknuti. Ma kako jaki bili zvučni valovi, koji u ovim primjerima idu kroz uzduh, plamen je svijeće neosjetljiv za zvuk. No kako iz mijeha tjeram tanku uzdušnu struju u plamen svijeće, od koje plamen počne treptati, dok mu se u isto doba umanjuje sjaj, počet će taj plamen skakutati, kako počnem fićukati."



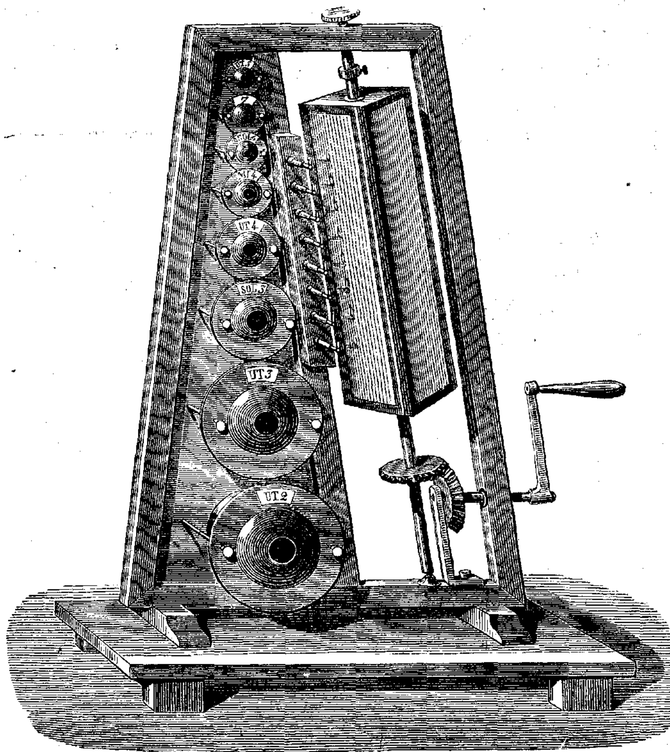
Sl. 71. Tyndallov osjetljivi plamen.

Baš je Tyndall svojim pokusima znao plamene dotjerati do velika stupnja osjetljivosti, osobito plamene plina, koji izlazi iz različnih cijevi. Spomenimo se ovdje samo jednoga rezultata njegova.

Iz okrugle plinske cijevi (sl. 71.) izlazi uz dovoljan tlak plamen visok 60 centimetara. Lak udarac bata o nakovanj u velikoj daljini s mjesta ga snizi na 17 centimetara; zveka svežnja ključeva živo djeluje na nj i jasno se čuje njegovo brujanje. Dvadeset metara daleko od plamena, pada novac na drugi u ruci, udarac snizi plamen; škripanje cipela izvodi u njem jako gibanje. To isto čini deranje papira, ili šuštanje svile; kap ga vode, kad pane, na jednoč potrese. Kraj njega je namjestio uru. Nitko ne čuje kuckanja, ali učinak na plamen je velik: svaki ga kucaj gotovo uništi; cvrkutanje je vrapca dosta, da ga sruši, a to bi jamačno učinio i glas cvrčka; dvadeset metara daleko od plamena šapćeš i plamen se skrati i bruji.

Ove vanredno osjetljive plamene upotrebio je Koenig u Parizu, da oku prikaže zvekove muzikalne. Osam je resonatora namjestio na stalku (sl. 72.), a ti odgovaraju na osam prvih harmoničkih tonova, t. j. na tonove, koji izvršuju 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 puta toliko titraja, koliko osnovni ton. Svaki je sastavljen pomoću cijevi od kaučuka, koja polazi od uskoga otvora, s kutijom, u koju

je utaknuto osam cjevčica, u koje plin sa strane ulazi. Plameni stoje pred ravnim zrcalom, koje se može brzo vrtjeti. Ako se zrcalo vrti, dok su plameni mirni, daje svaki plamen u zrcalu ravnu široku prugu, kao što na pr. usjan ugljen daje svijetao krug, kad ga na koncu brzo vrtiš.120Ršće li plamen, pruga nije ravna, nego je na rubu zubata. Koliko je u tona titraja, toliko je zubaca na vatrenoj



Sl. 72. Koenigov aparat za optičku analizu zvekova.

pruzi u zrcalu. Slika 73. pokazuje zubatu prugu za osnovni ton i oktavu; broj je zubaca u drugom slučaju dvostruk.

Ako koje tijelo zveči, na pr. akustična vilica, proći ćeš s njom ispred niza resonatora, pak ćeš vidjeti u zrcalu po zupcima pruga, kako neki plameni titraju. Po više ili manje živom titranju moći ćeš suditi i o jakosti sporednih harmoničkih tonova.

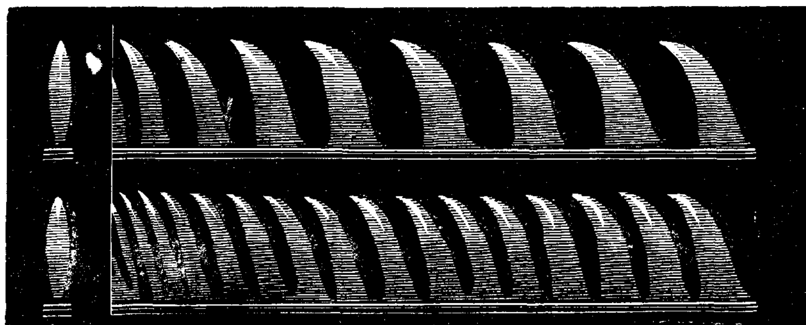
Ovako je Helmholtz mogao posvema točno ispitivati, koji su harmonički tonovi primiješani osnovnomu, i u kojoj jakosti.

No on je i obrnuto postupao! On si je umjetnim načinom s pomoću akustičnih vilica načinio niz čistih, jednostavnih tonova, pak ih je pustio, da u različnim kombinacijama zajedno zveče i dobio je tako različne zvekove: akustična sinteza zvekova.

Na osnovi takih rastavljanja i sastavljanja došao je Helmholtz mimo inoga i do ovih zanimljivih rezultata:

1. Zvekovi bez sporednih (razumije se: harmoničkih) tonova meki su, ali slabi i u dubljini mukli. Tomu su najbliži tonovi flaute, širokih pokritih svirala na orguljama i dubokih svirala dječijih.

2. Zvekovi, koji imaju mnogo sporednih tonova, hrapavi su i oštri. Mikstura na orguljama i oštro potresene žice i strune daju take zvekove.



Sl. 73. Osjetljiv plamen na osnovni ton i na oktavu.

3. Zveci, koji imaju samo prvih pet (harmoničkih) sporednih tonova, bogati su, puni i harmonični. Taki su zveci roga, glasovira, čovjekova glasa (kad pjeva!), otvorene svirale na orguljama.

4. Zvekovi s neparnim sporednim tonovima prazni su, a ako ih je oveći broj, prima zvek govora kroz nos. Na pr. uska pokrita svirala na orguljama (tako zvana kvintata) ima samo drugi harmonični ton (t. j. ton s trostrukim brojem titraja osnovnoga); zveči šuplje, a klarineta i oboa kao kroz nos.

5. Odavna su bili samoglasnici (vokali) *i, u, e, o, a* čovjekova govora nerazumljiva akustična tajna. Mi razlikujemo posvema lako zvek jednoga samoglasnika od zveka drugoga, makar da imaju i istu visinu i istu jakost. Po čemu ih razlikujemo? Otkuda svakomu njegova sasvim posebna boja zveka?

I ovo je pitanje riješio Helmholtz pomoću svojih resonatora: on je zvek svakoga samoglasnika najprije pomoću resonatora rastavio u njegova počela, t. j. u osnovni ton i sporedne tonove, pa je onda poslije čak i u tom uspio, da pomoću akustičnih vilica te tonove oponaša, pa kad ih je za tim zgodno sastavio, mogao je umjetnim načinom sastaviti zvekove svih vokala! S resonatorima je najprije pokazao, da se u glasu čovječjem uz osnovni ton razbira jasno prvih pet ili šest harmoničkih tonova. No kod čovječjega se organa govora zvučnim opnama, koje su izvor toj smjesi tonova, priključuje još usna šupljina s jezikom, te ona u neku ruku naknadjuje onu cijev, štono je vidjesmo kod svih svirala na jezičac (isp. str. 112.). No dok cijev take svirale može suzvučenjem uzduha u njoj odgovarati samo na jedan ton — osnovni ton svirale — ima usna šupljina to osobito svojstvo, da može po našoj volji odgovarati ili na osnovni, ili na bilo koji sporedni ton, što ga imamo u zveku našega glasa. Usna šupljina to izvodi tijem, da mijenja svoj oblik. Kod svirala na jezičac morali bismo pak za svaki ton nataknuti na njih drukčiju cijev. Ako pak usna šupljina odgovara na koji ton u smjesi, taj je ton smjese osobito pojačan. Mijenjajući dakle oblik ustiju možemo mi isti osnovni ton našega glasa smiješati sa sporednim tonovima različne jakosti, t. j. mi možemo jednomu ili drugomu sporednomu tonu dati osobitu jakost. Kod svakoga samoglasnika ujačavamo druge harmonične tonove, a osim toga ojačavamo kod svakoga samoglasnika jedan, ili najviše dva sporedna tona osobito jako. Tomu najviše ujačanomu sporednomu tonu dao je Helmholtz ime „odredni ton samoglasnika" (Bestimmungston). Tako je na pr. za samoglasnik *U* odredni ton f, za samoglasnik *O* ton b_1, za samoglasnik *A* ton b_2. Ostali samoglasnici imaju po dva odredna tona: kad govoriš, ili pjevaš samoglasnik *I*, ujačavaš najviše pomoću usne šupljine sporedne tonove d_4 i f, kod samoglasnika *Ű* tonove g_3 i f; kod *E* tonove b_3 i f_1, a kod *Ő* tonove cis_3 i f_1. A kako se mijenja usna šupljina, da ujačava suzvučenjem baš te sporedne tonove? I to je Helmholtz ispitao. Za samoglasnik *U* prima usna šupljina oblik boce s veoma uskim otvorom izmedju ustiju. Taj položaj usne šupljine daje najnižu resonanciju, koju ona u opće može da dade. Njom se ujačava osnovni ton, dok se viši sporedni tonovi spram njega gube.

Kod samoglasnika *O* raširujemo nešto otvor boce, ali boca sama postaje uža. Pri tom se osobito ujačava ton b_1. Za samoglasnik *A*

dajemo usnoj šupljini sasma drukčiji oblik: oblik lijevka, kojemu je uzak kraj unutra a izvanji kraj na ustima, koja se jako otvore. Sada ona odgovaraju suzvučenjem na ton za oktavu viši nego kod *O*, poradi toga je najviše ujačan viši ton b_2 (ili po novijim istraživanjima zapravo oni viši tonovi, koji su blizu tonu b_2). No kako su usta pri tom jako otvorena, čuju se i svi drugi viši tonovi, ali mnogo slabije. Kod samoglasnika *E*, *I* i *A* prima usna šupljina ovaj oblik: stražnji se dio usne šupljine raširi, no prednji se dio jezika digne na nepce i čini tamo usku cijev. Time se za pravo usna šupljina razdijeli u dva odsječka, a svaki odgovara suzvučenjem na drugi ton: usna šupljina otraga na niži, a cijev sprijeda na viši.

* * *

U najnovije je vrijeme u službu nauke na ovome mjestu ušao svemu svijetu poznati fonograf Edisonov, i tu je smjesto, da opišemo taj veoma zanimljivi aparat, koji nam je donio praktično riješenje jednoga od najsmionijih problema, što si ih je mogao zadati čovjek. Što je prolaznije od riječi, ili pjesme, koja je jednoč izišla iz ustiju čovjeku? Pa gle: Edison je znao uhvatiti krilate riječi i glasove, zatvorio ih je u svoj čudotvorni aparat, i kada tko hoće, taj mu aparat govori ili pjeva! Što će nam taj aparat vrijediti, kad se jednoč usavrši, toga danas ne možemo reći, po gotovo, ako se on sastavi s drugim čudovištima naših dana: s teléfonom i telefotom. Ali u fantaziji svojoj možeš već danas uočiti ovu situaciju, koja nije ni malo nevjerojatna. U zagrebačkom parlamentu ujedinjene i samosvojne naše Hrvatske ustat će govornik koje hrvatske kolonije s onu stranu oceana — bogate su se kolonije razvile iz onih tisuća i tisuća Hrvata, koji baš danas bježe iz domovine, da s onu stranu velikoga mora traže kruha — da govori o važnoj temi, kako da se zaštite interesi te velike kolonije. U glavnom gradu kolonije skupile se u velikoj dvorani u tom času tisuće njegovih sugradjana, da slušaju govor. Sve šuti. Na govorničkoj tribini stoji nekaki aparat; recimo, da mu je ime „telefonograf“. Nekoliko časaka — i dvoranom se ori jak glas govornika. Svi pomnjivo prisluškuju; gdjekada se umiješa i drugi tajanstven glas, koji govornika prekida; čuješ i pljeskanje ruku, mrmljanje nezadovoljnika. Najednoč zazvoni zvonce — nitko ga ne vidi — i u dvorani je — potpuna tišina, ali samo na časak. Tisuće, koje su slušale govor, mašu šeširima i odobravaju govorniku (sl. 74.), al u dvorani, gdje su se sku-

pili nitko ne govori! Kako dolaze ti glasovi? Na tribini je aparat visok jedva 45 centimenara, jednostavna oblika i ni malo zamršena mehanizma. Svi samo gledaju u taj aparat i čini ti se kao da ga slušaju: iz njega izlaze glasovi.

Lijepa slika, zar ne? Hoće li se za Hrvatsku ikada ispuniti? Bog zna. Bojimo se, ako ne okrenu svi sinovi i kćeri toga zaista od Boga lijepo obdarenoga naroda — više obdarenoga, nego što bi čovjek i mislio — sasvim drukčije raditi, nego što rade danas „za domovinu“, ako ne okrenu sasvim drukčijom ozbiljnošću i ustrajnošću učiti cio svoj život, a mnogo manje vremena posvećivati snatrenju, plandovanju i zabavi, — bojimo se, da će ova lijepa slika ostati za Hrvate — tek lijepa sanja. Perditio tua ex Te, Israel!

No drugi će kulturni narodi za stalno moći ovako slušati govore u majci domovini, moći će ih ponavljati, kad ushtiju, i pohraniti za poznija vremena. Putnici, daleki naseljenici, saznat će za političke debate u onom istom času, kad budu govorene, slušat će velike rasprave akademičke, literarne, naučne i pravničke u daljini od mnogo tisuća kilometara, slušat će glazbeno djelo, koje će se prvi put pjevati na pr. u operi Pariskoj ili kazališni komad, koji se igra u „Comédie française.“

To nam se danas čini gotovo čudo; no što bismo rekli, da se jednoga lijepoga dana tomu slušanju u daljinu priključi i g l e d a n j e u d a l j i n u pomoću drugoga aparata „t e l e f o t a“?

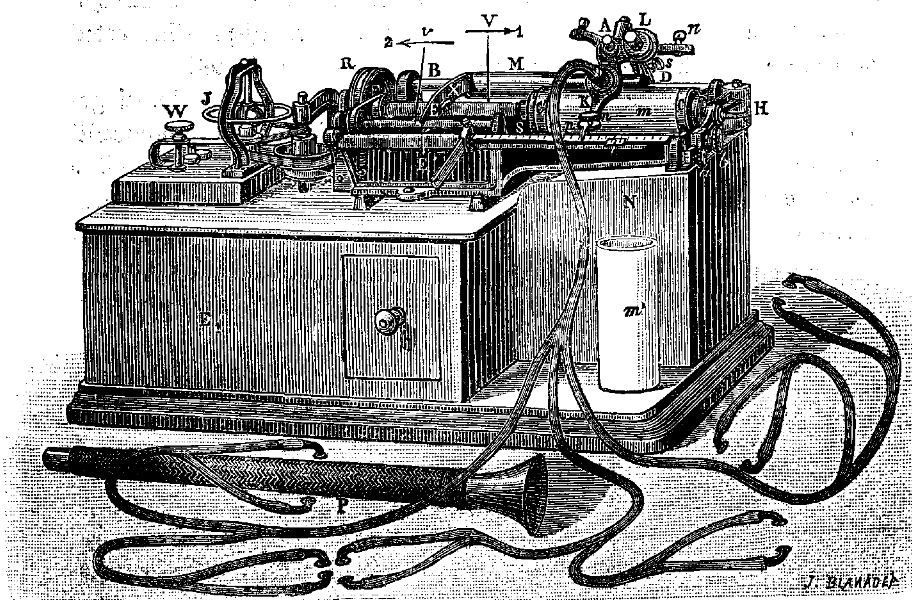
Daljine bi ljudski rod znao tek po imenu!

No kanimo se hipoteza o slušanju i gledanju u daljinu, pa konstatujmo činjenicu, da je mjeseca veljače 1889. mnogo osoba, sabranih u Franklinovu institutu u Filadelfiji, slušalo besjede govorene i melodije pjevane u New-Yorku, daleko od njih 165 kilometara, a nisu se ni maknuli sa svojih mjesta, niti im je umakao koji slog ili koji ton. To je postignuto t e l e f o n o g r a f o m. Telefon sâm prenosi čovječji glas u daljinu, ali se na nj dalje ne obazire, no telefonograf ne prenosi samo ljudski glas, nego ga i sačuva, pa ga možeš po volji ponoviti bez kraja i konca, i u tome je velika razlika izmedju obiju aparata. Na telefon se razgovaraju zaista dvije osobe, kod telefonografa pak imaš samo dva stroja; jedan ponavlja samo gibanja drugoga u velikoj daljini. Ta su dva čudotvorna stroja „f o n o g r a f i“, a aparat, koji ih spaja, to je t e l e f o n.

Što znamo o zvučnim valovima, bit će dosta, da ih shvatimo. E d i s o n o v f o n o g r a f u njegovu popravljenu obliku (prvi je oblik

izveden god. 1878.), kako je prikazan u Pariskoj akademiji lijepih umjetnosti dne 27. travnja 1889., pokazuje slika 75. Glavni mu je dio potpuno cilindričan valjak, koji je pokrit parafinom (vrstom tvrda voska); na osovini je valjka urezan šaraf, pa se poradi toga valjak u smjeru osovine dalje pomiče, kad se oko nje vrti. Motor električni izvodi sasma jednoličnu vrtnju valjka i ujedno pomicanje njegovo uzduž osovine.

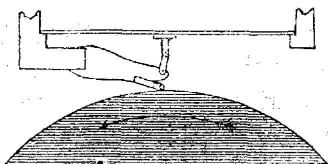
Ispred valjka je u okviru, utisnuta medju dva koluta od kaučuka, staklena pločica debela tek $^1/_8$ milimetra (sl. 75a). U



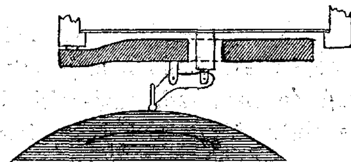
Sl. 75. Edisonof fonograf.

svojoj sredini nosi kovnu pločicu, i ta je pomoću šarnira spojena s malim dlijetom, koje se lako prislanja o valjak. Ako tko govori ili pjeva pred tom staklenom pločicom, dok se valjak vrti, dupsti će dlijeto u površini parafina brazdu, kojoj će se bregovi i dolovi posvema podudarati s titrajima pločice, što ih izvode zvučni valovi govora, ili pjesme. Taj se govor, ili pjesma može lako ponoviti. Tomu služi slična još tanja staklena pločica (sl. 75b); sredina joj je opet s pomoću šarnira spojena s polugom, a ova na svom kraju nosi malu kuglicu, koja se točno slegne u brazdu, urezanu dlijetom. Ako se

kuglica položi na početak brazde i valjak vrti predjašnjom brzinom, skliže se kuglica preko svih bregova i dolova brazde; preko poluge prenosi kuglica tanku staklenu pločicu u stanje gibanja, posvema jednako onomu, koje je brazdu urezalo; pločica pak uzgibat će uzduh oko sebe baš onako, kako je uzduh prije potresivao prvu pločicu, t. j. pločica će sada ponavljati, što se govorilo, ili pjevalo. Cijevi od kaučuka



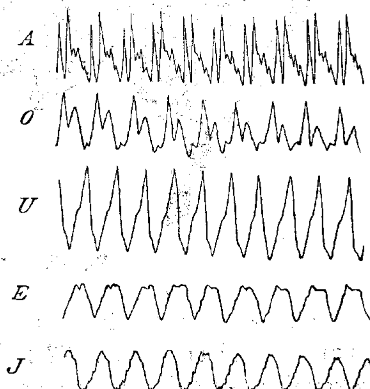
Sl. 75a.



Sl. 75b.

vode ove zvučne valove u uha slusača, ili pak veliki kovni lijevci vode pojačane zvučne valove u uzduh dvorane, te ih svi čuju u isti mah.

Fonograf ne bilježi samo sve tonove muzikalne skale sasma točno i sve glasove različnih jezika, već i tonove čitavoga orkestra, koji se u isti mah javljaju po svojim zvučnim valovima na pločici. Pločica nas u tom slučaju živo podsjeća na bovu, koja se u luci njiše na moru. U zadanom času na nju udaraju valovi možda s pedeset strana; svaki ide svojim putem, oni se ukrštavaju, ali jedan drugomu ne smeta; bova prima od svakoga vala nešto gibanja; učinci se medju sobom jačaju, ili slabe, i bova, koja u zadanu času ne može da ima nego jedan položaj, voljko spoji sve te različne porive.



Sl. 76. Fonografske krivulje.

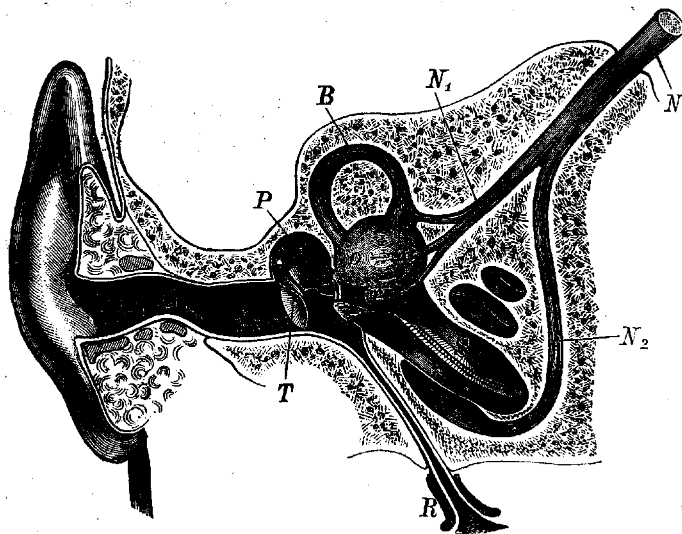
No da se povratimo na ishodište ovoj našoj ekskurziji. Fonograf se danas upotrebljava u naučne svrhe. Treba li na pr. istraživati svojstva samoglasnika, treba urezanu brazdu njihovu sa svim bregovima i dolovima izmjeriti. I to su fizičari već učinili. No kako je ta brazda tako sitna, da je bez mikroskopa (lupe) ni ne vidiš, trebalo je fotografijskim putem načiniti uvećane slike. U slici 76. prikazane su te slike za svih 5 samo-

glasnika, kad su pjevani na isti muzikalni ton *a*. Izmjerivanje je tih slika u glavnom potvrdilo rezultate Helmholtzove, koje smo gore priopćili.

Neka bude spomenuto i to, da se fonograf danas već upotrebljava i za izučavanje akcenta i dijalekata različnih jezika.

3.

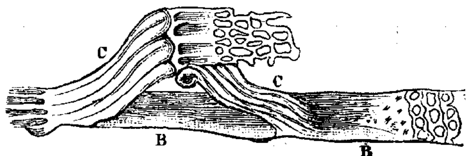
Suzvučenje i uho. Posljednji naš izlet u područje zveka i boje zveka donio nam je otkriće jednoga pojava u carstvu tonova, koji će nam sada razjasniti, kako se zvučni valovi tonova prenose na slušni živac, t. j. kako dolazi do toga, da ih čujemo.



Sl. 77. Prosjek kroz uho.

Organ sluha ili uho ima tri odjeljka: izvanje uho, bubnjište i labirint (sl. 77.). Izvanje uho obuhvaća školjku uha, zvukovnicu *G* i seže do napete opne *T* bubnjića. Iza nje je šupljina *P* bubnjište; od mozga je rastavljeno koštanim duvarom, a u tom je duvaru okrugla i ovalna rupa; i te su rupe zatvorene tankim opnicama (okrugli i ovalni prozor). Poprijeko se kroz bubnjište vuku 4 koštice: batić je na bubnjiću *T*; pomoću koljena s njim je svezan nakovanj; treća okrugla koštica (bez imena) veže ga sa stremenom, kojemu je ovalno dno pričvršćeno na ovalnoj opnici. Iza koštanoga duvara, izmedju njega i mozga imamo pravi organ sluha sasvim

osebujnoga oblika: zove se labirint. Pun je vode, a u njoj ima kožnatih tvorbi, po kojima se rasprostiru izdanci slušnoga živca. Uzdrma li se bubnjić od udarca zvučnoga vala, koji kroz zvukovnicu pojačan do njega dolazi, prenosi se taj udarac preko koštica na ovalnu opnicu, a ova ga prenosi na vodu u labirintu, iz koje opet prijedje na živac. No taj se prijenos ne zbiva izravno. U labirintu je na jednome mjestu veoma čudnovat organ, što ga je otkrio markiz Corti, pak se po njemu zove Cortijev organ (sl. 78.). Čini se, da je to muzikalan instrument, naime harfa sa 3000 napetih struna mikroskopskoga oblika. Svaka strunica odgovara samo na jedan ton odredjene visine. Kad na tu harfu dodje muzika izvanjega svijeta, sastavljena od smjese tonova, izabire si svaki ton u smjesi svoju napetu strunicu, koja odgovara njegovoj visini, pak je po zakonu suzvučenja potrese i ona titra, kao i ton, koji ju je potresao.



Sl. 78. Cortijev organ.

Na taj se način i najzamršenija smjesa tonova u našem uhu rastavlja u svoja jednostavna titranja; uho naše ima divnu sposobnost, da najzamršenije valovito gibanje uzduha analizira bez našega znanja i mimo našu volju! Na svakoj strunici Cortijeva organa završuje se jedna nit slušnoga živca, a podražaj te živčane niti izvodi osjećaj odredjene visine tona. Nije li to pravo čudo?

4.

Suglasni i nesuglasni zvekovi. Tko je ikada slušao, gdje zajedno zveče dva tona, ili njih više, za stalno je opazio, ako i nije muzikalan, da zajednički učinak njihov na uho i dušu nije svagda jednak: u nekih je veoma ugodan, u drugih veoma neugodan. Umjetnik i fizičar rekao bi u prvom slučaju, da su tonovi „suglasni“ ili „konsonantni“, a u drugome, da su „nesuglasni“ ili „disonantni“. Kako je ovaj pojav „konsonancije“ i „disonancije“ tonova i zvekova od veoma velikoga zamašaja u muzici, treba da se taknemo pitanja: a zašto su neki tonovi u zajedničkom zveku suglasni, a drugi nesuglasni?

Konstatujemo najprije činjenice, koje je već Pitagora u starom vijeku znao.

Neka zazveče na bilo kojem instrumentu u isti mah dva tona jednake visine, koji dakle izvršuju u sekundi jednak broj titraja, na pr. 360 njih, tako će se savršeno složiti, da gotovo ni ne razbiraš, da su to dva tona: potpuno se stopiše u jedan zvek. Omjer je njihovih titrajnih brojeva 360 : 360 ili *1 : 1*. Najbolje su suglasna dva tona jednake visine (unisono). Stručnjak bi ti rekao: najsavršenija je kosonancija unisono 1 : 1. — Ostanimo sada kod tonova praktične muzike, pak ih sastavljajmo po dva. Neka zajedno zveče osnovni ton i njegova oktava, koja izvršuje u sekundi dvostruk broj titraja, 720 njih. I oni daju gotovo savršenu konsonanciju, jer se eno stapaju takodjer gotovo u jedan zvek, koji vanredno ugodno djeluje na uho; omjer je njihovih titrajnih brojeva 360 : 720 ili *1 : 2*. Za tim dolaze redom po njihovu suglasju: osnovni ton (360 titraja u sekundi) i kvinta (540 titr.) s omjerom visina 360 : 540 ili *2 : 3*, osnovni ton (360 titr.) i kvarta (480 titr.) s omjerom njihovih visina 360 : 480 ili *3 : 4*, osnovni ton (360 titr.) i velika terca (450 titr.) s omjerom visina 360 : 450 ili *4 : 5* i napokon osnovni ton i mala terca (432 titr.) s omjerom visina 360 : 432 ili *5 : 6*.

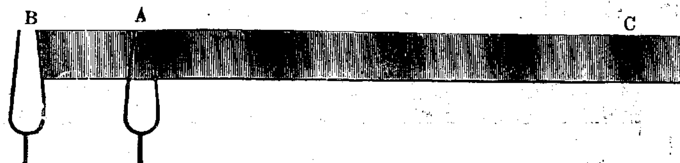
Uzmeš li pak osnovni ton i sekundu (405 titr.) s omjerom visina 360 : 405 ili *8 : 9*, nesuglasni su, ne djeluju na uho ugodno; u muzici, kako znamo, taj interval ili razmak pripada jednomu cijelomu tonu. Uzmeš li pak dva tona, kojima je omjer titrajnih brojeva na pr. *15 : 16* (u muzici interval od pô tona), čut ćeš veoma oštru disonanciju, koja siječe u uhu. Činjenica je dakle: Suglasnost je dvaju tonova to savršenija što su manji brojevi, koji izrazuju omjer njihovih visina.

Kako da rastumačimo tu neobično zanimljivu činjenicu? Zašto mora da izrazuje manji broj savršeniju konsonanciju? Pitagora i njegovi učenici odgovorili su: „Sve je broj i harmonija". Euler (1707.—1783.), glasovit matematik, kušao je da razjasni uzrok toga ugodnoga osjećaja ovako: „Nama se svidja red, pak nas se dojimlje ugodno, kad vidimo sredstva, koja vode k nekoj svrsi". Ali napor, da otkrijemo taj red, ne smije biti tolik, da nas umori. Ako su prilike, koje moramo da odgonemo, suviše zamršene, možemo doduše red vidjeti, ali ne možemo u njem uživati. Što je jednostručniji izražaj kojega zakona, to je veći pri tom naš užitak. Poradi toga volimo jednostavne muzikalne omjere nego zamršenije. Konsonancija bi dakle bila po Euleru neko duševno uživanje ili zadovoljstvo,

koje dolazi otud, što smo bez napora spoznali jedan zakon. Na dlanu je, da ovo metafizičko tumačenje ne može da bude pravo: niti je Pitagora što znao o omjerima titraja, niti danas većina onih, koji uživaju u glazbi i za konsonancije i disonancije imaju najoštrije uho, zna išto o tim omjerima.

Pravi je uzrok tomu ugodnomu i neugodnomu čuvstvu tek u drugoj polovini prošloga vijeka otkrio toliko spominjani Helmholtz. I u toj se prilici pokazalo, kako malo vrijede i na tom polju spekulacije. S pomoću pomnoga rastavljanja i sastavljanja zvekova i tonova, dakle opet pokusima, riješio je Helmholtz i to pitanje. Pak i to riješenje kao da je potvrda mišljenju, da sva naša čuvstva i svi duševni porivi, počevši od najobičnijih osjeta pak do najviše estetske svijesti, imaju mehaničan uzrok.

Evo, kako je Helmholtz došao do svoga riješenja ovoga zanimljivoga i za muziku toliko važnoga pitanja!



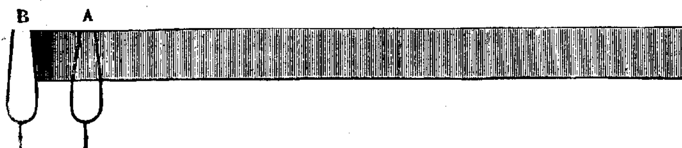
Sl. 79. Ujačavanje zvuka.

Kad dva tona zajedno zveče, očito je, da se zvučni valovi jednoga u uzduhu ukrštavaju sa zvučnim valovima drugoga, pak da izvode u uzduhu pojave posvema slične onima, u kojima smo uživali gledajući ih na ustalasanoj vodi. Razlika je tek u tome, što ukrštavanje vodenih valova gledasmo tjelesnim okom, ukrštavanje nevidljivih zvučnih valova u uzduhu pak gledamo duševnim našim okom, koje je izoštreno izučavanjem valova na vodi; no učinke ukrštavanje odaje — uho naše. Bit će dobro, ako čitatelji pročitaju, što rekosmo o tome u prvom članku pri našem izletu u područje valova na vodi (isp. str. 35.).

Dvije akustične vilice ugodjene na isti ton (sl. 79.) izvode svoje titraje tako, da desni zubi u isti mah svrše svoje titraje na izvanju i na unutrašnju stranu. Ako su razdaleko za punu dužinu jednoga zvučnoga vala (t. j. zgusnutu i rastanjenu polovinu), kako pokazuje slika, jasno je, da će se zgusnuti dijelovi jednih valova podudarati sa zgusnutim dijelom drugih; zgusnuta će se mjesta zvučnih valova desno od A prema C još više zgusnuti, a rastanjena još više

rastanjiti, posljedak će ukrštavanja biti, da će obje vilice zajedno izvoditi mnogo jači ton, nego da svaka za se titra. To bi se očito i onda dogodilo, da je vilica *B* od vilice *A* daleko dvije pune dužine zvučnoga vala, ili njih tri, četiri itd. u opće bilo koji cio broj punih dužina vala.

No što će biti u uzduhu od *A* prama *C*, ako je zub *B* od zuba *A* daleko samo pô dužine vala (sl. 80.)? Zub će *B* izvoditi rastanjivanje uzduha baš na onome mjestu, gdje će zub *A* izvoditi zgušćivanje: jedan će zub čestice uzduha naprijed tjerati, gdje ih drugi zub tjera natrag; ako su te protivne sile jednake, čestice uzduha ne će ni naprijed, ni natrag, dalje desno od *A* bit će u uzduhu posvemašnji mir, u njem nema nikakvih zvučnih valova, dakle se ne čuje nikakav ton. Tako se evo može dogoditi, da jedan ton dodan drugomu daje tišinu. Lako će svatko uvidjeti, da će se to isto dogoditi, ako je zub *B* od zuba *A* daleko za tri poluvala, ili njih pet, sedam, itd. u opće za neparan broj polovina vala.



Sl. 80. Uništavanje zvuka.

Dakle baš kao na vodi! Dva će se zvučna valovita gibanja jednake jakosti i jednake dužine valova i u uzduhu sasvim uništiti kod ukrštavanja, ako imaju razliku puta jednaku jednoj polovini dužine vala, ili pak u opće neparnomu broju takih polovina, a ujačavat će se, ako nemaju nikakve razlike puta, ili pak, ako je razlika putova jednaka parnomu broju polovina vala.

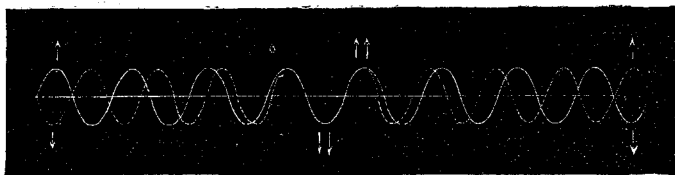
Pokusi s akustičnim vilicama to za zvučne valove zaista potvrdiše u punoj mjeri! Ton, dodan tonu iste jakosti i visine, ili se ujačava, ili se posvema uništi: uho nam odaje ukrštavanje nevidljivih zvučnih valova!

No što je onda, ako visine tonova nisu jednake? Od prije znamo, da u tom slučaju nisu ni zvučni valovi u uzduhu jednake dužine; viši tonovi daju svagda kraće valove!

Tyndall je za taj slučaj pokazivao ovaj lijepi pokus. Dvije vilice izvodile su isti ton sa 256 titraja u sekundi, dakle je bila dužina valova, izvedenih u uzduhu (isp. str. 84.) 34000 : 256 go-

tovo $132^1/_2$ centimetara. Kad zajedno zvuče, a nemaju nikakve razlike puta (jedna stoji uz drugu), daju krasan i jak unisono. Na zub jedne prilijepio je komadić voska i tim je učinio, da ova vilica nešto sporije titra od druge. Vosak neka joj umanji broj titraja na 255 u sekundi, dakle samo za jedan titraj u svakoj sekundi. Vilice nisu više unisono! Ni valovi nisu više jednake dužine! Druga vilica izvodi u uzduhu valove, koji su dugački 34000 cm: 255 = $133^1/_3$ cm, dakle duže gotovo za 1 centimetar.

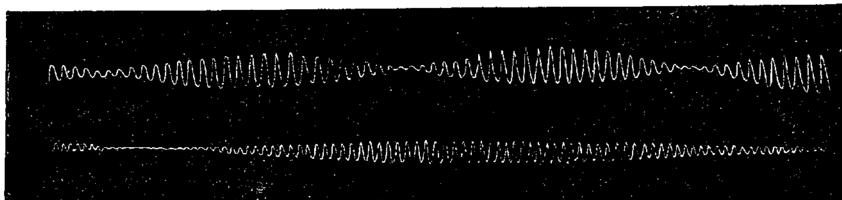
Neka te dvije vilice počnu u isti mah zvečati jednakom jakošću, tako da se zgusnuta vrsta sa zgusnutom, a rastanjena s rastanjenom pokriva. Kod 128 titraja bit će jedna za pô vala naprijed spram druge i sada će se baš zgusnuta vrsta jednoga vala pokrivati s rastanjenom drugoga, zvek se njihov u tome času sasvim uništio. No od toga časa dalje opet će se vilice sve više podupirati u zveku, a na koncu sekunde, kad jedna izvrši svoj 256.



Sl. 81. Ukrštavanje valova nejednake dužine.

titraj, a druga 255., bit će im stanje kao na početku prve sekunde: zgusnuta se vrsta podudara sa zgusnutom, a rastanjena s rastanjenom, zvek je ujačan. To lijepo prikazuje slika 81., gdje je uzeto, da jedan zvučni val izvršuje 8 titraja, dok ih drugi izvrši 9. Zgusnute su vrste uočene bregovima, rastanjene dolovima. Slika polazi od časa, gdje se zgusnuta vrsta jednoga vala podudara s rastanjenom drugoga, od časa dakle, gdje je zvek uništen. Vidi se u slici, kako se nejednake dužine valova po malo razmiču jedna od druge; nakon $4^1/_2$ titraja prvoga, izvršio je drugi samo 4 titraja; poradi toga se sada pokriva zgusnuta vrsta sa zgusnutom i rastanjena s rastanjenom (dvije strjelice!): zvek je u tom času ujačan do najveće svoje snage. U drugoj polovini se valovi opet razilaze i nakon 9 titraja prvoga i 8 titraja drugoga opet se pokriva zgusnuta vrsta s rastanjenom: zvek je u tom trenu uništen. Kod ukrštavanja zvučnih valova, koji dolaze od ovakih tonova nejednake visine, uho dakle ne će čuti ne-

prekinut tečaj potpunoga unisona, makar da su visine obaju tonova gotovo sasvim jednake i makar da nema uha, koje bi moglo raspoznati tako malenu razliku visina. Umjesto toga čut će naše uho naizmjence ujačavanje i oslabljivanje tona, a tomu pojavu dajemo ime „treptanje tona." On je, kako evo razabrasmo, učinak ukrštavanja zvučnih valova, što ih u uzduhu izvode obje vilice. Tyndall je svoj pokus nešto preinačio: umjesto komadićem voska oteretio je jednu vilicu bakrenim novcem. Treptaji su tona dolazili mnogo brže jedan za drugim. Kod prvoga je pokusa jedna vilica u svakoj sekundi izvršila samo jedan titraj više od druge i mi smo u sekundi čuli samo jedan treptaj (t. j. jedno uništenje i jedno ujačanje tona). U drugom je pokusu jedna vilica izvršivala u sekundi 250 titraja, a druga njih 256; uho je čulo šest treptaja u sekundi. U jednu riječ: **Broj treptaja u sekundi svagda je jednak razlici izmedju titrajnih brojeva.**



Sl. 82. Treptanje tonova.

Slika 82. pokazuje savršeno po optičkoj metodi treptaje u dva slučaja: u prvome je slučaju bio omjer titrajnih brojeva 15 : 10, a u drugome 80 : 81.

Sva zvučna tjelesa mogu izvoditi ovake treptaje tona. Osobito su zgodne za to dvije jednake obične svirale i dva plamena, koji pjevaju.

Nisu ovo jedini pojavi ukrštavanja zvučnih valova: misaon prijatelj prirode susrest će ih često i u svakidanjem životu, navlastito kod glasova zvona; tu će često čuti treptanje glasa njegova, koje dolazi otuda, što poradi nepotpune jednoličnosti oblika zvono često nešto brže titra na jednoj strani, nego na drugoj.

No ipak ne možemo da ulazimo dalje u ove zanimljive pojave ukrštavanja zvučnih valova; mi smo ih tek toliko proučavali, kako bismo razumjeli novo tumačenje Helmholtzovo, otkuda suglasnost i nesuglasnost tonova.

Helmholtz opisuje ovaj odlučni pokus s plamenima, koji pjevaju. Zar i plameni pjevaju? pitat će čitalice i čitaoci. I te kako! Danas pače plamenovi ne samo da pjevaju arije iz opera, nego od nekoliko godina amo plamenovi petrolejske lampe mogu i govoriti!

Izum svakako zanimljiv i vrijedan, da mu pogledamo nešto iz bližega u oči.

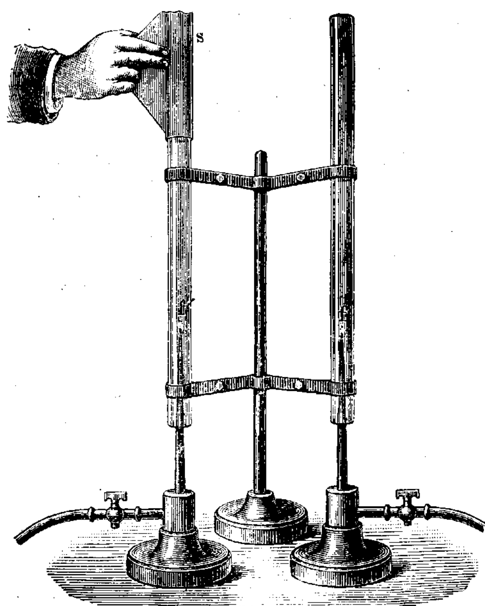
Svatko zna po svakidanjemu svom iskustvu, da se i trvenjem mogu iz različnih čvrstih tjelesa izvabiti lijepi muzikalni tonovi. Eno gudalom prelaziš po žici violine. Što se dogadja? Tare se gudalo o žicu, ali napetost žice ravna to trvenje tako, da postane ritmično t. j. da se zbiva po odredjenom taktu. Ritam trvenja izvodi pravilno titranje žice! Trvenje se naime za pravo razdijeli u cio niz ponovnih udaraca, pravilnih i jednakih, pa tako žica zazveči. Tko nije vidio već vještaka, kako mokrim prstom tare rub tanke čaše i izvodi zvonke tonove? I tu je rastavljanje trvenja u niz udaraca uzrok pravilnim potresima njezinih čestica. Savart je pače pokazao, da i trvenje tekućine o otvor, kroz koji teče, može da izvodi muzikalan ton, baš poradi toga, što se svako trvenje raspada u ritmičan niz pravilnih udaraca.

I plinovi se znadu trti o čvrsta tjelesa. Tko nije čuo, a možda u strašnim časovima bitke i osjetio onaj karakteristični fićuk puščanoga zrna, kad leti kroz uzduh. Pa i kad pušeš polako na plamen svijeće, pokazuje ti njezino osobito brujanje i opet, da je trvenje uzduha o plamen ritmičan niz udaraca. Brujanje ti ujedno pokazuje, da se tu javljaju sasma različni zvučni valovi, što duži i kraći, što jači i slabiji: nema u tome zvuku onoga karakterističnoga svojstva tona, da bi svi zvučni valovi bili jednako dugački, jednako jaki i da bi se pravilno ponavljali. No kad je Tyndall s tim brujanjem sastavio sviralu, izabrala je svirala iz te množine svakovrsnih udaraca samo odredjen niz njih, na koje ona odgovara, pak ih je s pomoću svoga suzvučenja digla na pravi muzikalan ton!

Svako se brujanje plamena može ovako pretvoriti u ton, tek treba što jednostavnije izvesti brujanje. Najlakše ga dobiješ, ako plamen gori u odugačkoj cijevi otvorenoj na obje strane. Promaja iznad cijevi obično je dosta, da izvede ono ritmično trenje, koje će plamen za kratak čas potaknuti, da sâm zapjeva u cijevi („kemička harmonika“). Što je duža cijev, to je niži osnovni ton plamena; osam zgodno odabranih cijevi s plamenom u svakoj, dat će osam tonova

muzikalne skale. Plamen, koji pjeva, gotovo se sasma prilagodi zvučnim valovima, koji se u cijevi načine s čvorovima na nekim mjestima; i on titra u taktu tih valova. Visina tona takova plamena zavisi dakle najviše o dužini cijevi, no Tyndall je pokazao, da zavisi i o dužini plamena.

Dva jednaka plamena pjevahu savršen unisono u cijevima jednake dužine. U dugačkim cijevima zna taki ton dosegnuti toliku snagu, da svi prozori u dvorani zazveče, a slušači osjećaju, kako dršću stôci pod njima! No kako je Tyndall jedan plamen oprezno umanjivao, nestalo je u tren oka unisona, a jaki se treptaji tona javiše.



Sl. 83. Plameni, koji pjevaju.

Može pače jedan plamen, koji pjeva, potaknuti drugi miran plamen, da sâm zapjeva! U slici 83. su plameni *f* i *f'* u cijevima. Cijev iznad *f'* duga je 28 cm, a cijev iznad *f* 30 centimetara. Na kraćoj je cijevi pomičan omot papira *s*. Kad nema omota pjeva plamen *f'*, a plamen *f* u dužoj cijevi šuti. Pomaknem omot na *f'* nešto u vis, da cijev postane duža. Kako stignem dužinu cijevi *f*, zapjeva i ovaj plamen. Možeš dakako ovaj lijepi pokus i obrnuti. U opće može ovako jedan plamen već iz velike daljine potaći drugi na pjevanje.

S tim je plamenovima izveo Helmholtz svoj odlučni pokus, o kojem je prije bio govor. Oba su plamena pjevala. Treptaja tona nije bilo, jer cijevi poradi prerazličnih dužina ne bijahu dosta blizu unisonu. No kako je Helmholtz kraću cijev po malo produživao, izvlačeći sve više omot *s*, čuli su se brzi treptaji tona. Postajahu sve polaganiji i napokon zapjevaše oba plamena savršenim krepkim unisonom bez ikakva treptanja. To je bilo, kad su obje cijevi bile

posvema jednake dužine. No kad je omot još dalje izvlačio, opet se javiše treptaji tona: s početka polagani, no kasnije sve brže jedan iza drugoga, dok napokon ne dolažahu jedan za drugim tako brzo, da ih već nisi mogao ni brojiti, tek ih je uho osjećalo kao neko neobično, veoma neugodno tutnjanje tona, koje svaki muzik poznaje uz ime „disonancija" tonova. S pomoću ovih plamenova, koji pjevaju, možemo dakle treptaje tonova posvema točno pratiti, kako po malo prestaju biti treptaji, te se pretvore u disonanciju.

A naš logički izvod iz toga pokusa? Disonancija se može izvesti veoma brzim nizom treptaja, kad zajedno zveče dva tona.

Kada dakle zajedno zveče dva tona, kojima je visina malo različna, djeluju u isti mah na istu napetu strunu Cortijeva organa u našemu uhu i to na strunu, koja odgovara na ton po svojoj visini najbliži jednomu i drugomu tonu smjese. Treptaji se njihovi prenose na tu nit Cortijeva organa i ona titra po taktu tih treptaja. No čim bi razlika u visini obaju tonova nešto više narasla (kad bi se interval izmedju oba tona uvećao), naskoro bi došao čas, da nit više ne odgovara na smjesu obaju tonova: uho više ne osjeća treptaja.

Helmholtz je pokazao, da je disonancija dvaju tonova najjača, kad na svaku sekundu dolazi 33 treptaja tona: veoma se jako osjeća hrapavost i oštrina zajedničkoga njihova zveka. Ni sporiji ni brži treptaji ne djeluju na uho tako neugodno kao njih 33 u sekundi. Ako su veoma spori, mogu pače i muzikalno djelovati na uho: uho čuje treći ton, kojemu je visina jednaka razlici od visina obaju tonova. Kad pak broj njihov naraste na 132 u svakoj sekundi, nestaje posvema hrapavosti i oštrine, što je izvode treptaji kod zajedničkoga zvečanja dvaju tonova: uho im se više ne odaziva.

Dovinusmo se evo cilju, da saznamo pravi uzrok tomu, zašto akordi muzike u dušama našim bude tako ugodna čuvstva, zašto nam je muzika tako draga umjetnost. Sada znamo pouzdano, zašto neki muzikalni intervali uhu tako ugodno, a drugi tako neugodno zveče.

Uzmimo na pr. da igraju zajedno samo dvije violine. Što dolazi u naše uho? Svaki zvek jedne i druge sastavljen je od jaka osnovna tona, po kojem mu glazbenici daju ime, i od čitava niza harmoničnih sporednih viših tonova. Ne zveče dakle zajedno samo oba osnovna tona, nego i po dva sporedna. Na naše uho ne djeluje samo konsonancija i disonancija osnovnih tonova, nego i sporednih tonova obiju gusala. Samo kad zajedno zveče dvije žice, kod

kojih se osnovni i sporedni tonovi podudaraju, nema mjesta nikakvim treptajima; to je zaista ispunjeno, kad je omjer titrajnih brojeva 1 : 1 t. j. kod unisona; unisono daje najsavršeniju konsonanciju. I kod omjera 1 : 2, kod oktave, još se uvijek podudara svaki viši ton jedne žice s osnovnim tonom, ili s kojim višim tonom oktave; ni tu nema mjesta treptajima ni disonancijama: osnovni ton i oktava daju još uvijek savršenu konsonanciju. No već kod intervala „osnovni ton — kvinta" (omjer titrajnih brojeva 2 : 3) pokazuje dublje istraživanje, da se sporedni tonovi ne slažu tako potpuno, da ne bi bilo traga treptajima i disonanciji. No ipak se toliko slažu, da ti tragovi treptaja suglasja osjetljivo ne smetaju, akoprem će muzikalno uho prepoznati, kako ova konsonancija već nije tako savršena, kao one dvije predjašnje. Idući tako dalje u intervalima naše muzikalne skale, otkrivamo, da se sporedni tonovi zvekova to manje podudaraju, što više rastu brojevi, koji izrazuju omjer njihovih titrajnih brojeva. Disonancija tih intervala ne potiče dakle ni od kakoga mističnoga svojstva tih brojeva, nego ima sasma jednostavan i čisto mehaničan uzrok: u njihovu su zveku osnovnim tonovima primiješani taki sporedni tonovi, da izvode treptaje, čim zajedno zveče, a ti su pravi uzrok onoj neugodnoj oštrini i hrapavosti, kojoj dajemo ime „disonancija".

* * *

Na koncu smo našega maloga izleta u područje muzike!

U velikoj smo dvorani i slušamo muziku savršena orkestra. Što li sve udara o naše uho u toj velikoj vrevi zvekova? Uz osnovni ton svake žice i svake puhalice imamo i više harmonične tonove njihove, koji se gdjekada čuju sve do šestnaestoga po redu! Svi lete kroz isti uzduh, svi udaraju o isti bubnjić. Ukrštavaju se u uzduhu dvorane valovi osnovnih tonova i valovi najrazličnijih sporednih tonova, postaju najraznoličniji treptaji tonova, koji se slažu u konsonancije i disonancije, a ukrštavaju se još osim toga i valovi jedne vrste tonova s valovima svake druge vrste tonova. Gdje je fantazija, koja bi mogla uočiti prezamršeno stanje gibanja u masi uzburkana uzduha, zatvorena u šest zidova naše dvorane? Ipak poznajemo bar sliku takova gibanja u onom milom i nestašnom zibanju mora u luci, kad ga ustalasaju stotine i stotine najrazličnijih valova i valića, koji se ukrštavaju na sve strane, šireći se po površini morskoj, pa je napokon razdijele u onaj bezbroj malih odjeljaka, koji svaki njiše sâm za se, a svi zajedno izvode ono milo zibanje mora.

Za čim je išla muzika svih vijekova, otkad nastoji da razveseljuje dušu i srce ljudi? Išla je za tim, kako bi rasporedila sve upotrebljene tonove na taki način, kako ne bi uho čovjeka ništa trpjelo od nemilih nesuglasica (disonancija), koje postaju kod tako mnogovrsna ukrštavanja nevidljivih zvučnih valova u uzduhu dvorane. A posljedak toga nastojanja? Isti kao i na vodi: milo zibanje uzdušne mase u dvorani, koja čuvstva naša razigrava do jakosti, kao ni jedna druga umjetnost!

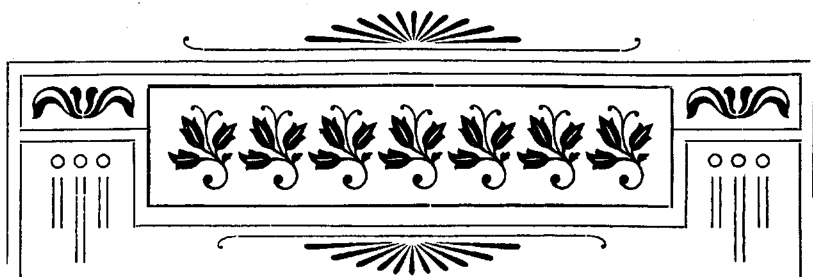
Dodjosmo evo do granica fizikalnoga dijela u carstvu tonova. No u njem ima još drugi dio: estetski. Nije naša, da uvodimo prijazne čitateljice i u ovaj kraj. To bi bila zahvalna zadaća drugomu peru.

No nadamo se ipak, da će od sada svaka čitateljica i svaki čitalac u muzici dvojako moći uživati. Duševno oko sada naime sasvim drukčije gleda to uzburkano more uzdušno. Fizik mu je raščinio svu tu smjesu valova u počela i pokazao, kako se iz njih sastavlja ono, što nam dušom tako jako trese. Nije li u tome znanju velik, čist užitak — kud i kamo plemenitiji i viši od tolikih užitaka, za kojima se toliko jagmi velika masa svijeta! Blago ljudskomu rodu, kad mu svane vrijeme, da ogromna većina njegovih članova umije cijeniti i osjećati ove više vrste duševnih užitaka. Nestat će u njega bez traga divlje furije rata i svih velikih barbarština, koje mu truju i danas, na osvitku dvadesetoga stoljeća, u velikoj mjeri njegov sukromni, a sve nam se čini, još i više njegov javni život. Nauka, pravo realno znanje, ima tu silnu moć, da kali um, srce i značaj u većoj mjeri, nego išto drugo. Ne sustajemo dovikujući sinovima naroda hrvatskoga, da mu je tu — i samo tu — put k pravoj slobodi naroda!



VALOVI SVJETLOSTI.





V.

Svjetlost u prirodi.

Svjetlost se rasprostire u pravcima. — Heliostat. — Camera obscura. — Pomrčine. — Odbijanje svjetlosti. — Slike u zrcalima. — Nepravilno odbijanje svjetlosti. — Lomljenje svjetlosti. — Snellov zakon lomljenja. — Totalna refleksija. — Lomljenje bridnjaka. — Slike u lećama. — Brzina svjetlosti.

Neka se prijazne čitalice premjeste u duhu u sredinu oveće sobe. Noć je vani crna i mrka, nebo zastrto crnim i teškim oblacima: ni otkuda ni jedne zrake svjetlosti, u sobi je potpuna tmina i ona nesnosna noćna tišina, koja nemirnoj duši zadaje toliko jada. Kažu, da čovjeku ne može biti veće kazne na tom svijetu, nego zatvoriti ga samo nekoliko sati u ovaku tamnu i tihu sobu. Svatko, tko je ikada proveo noć bez sna u samotnoj sobici, rado će tomu vjerovati, kad se sjeti, kako su mu se bez kraja otezali noćni sati i kako su uzrujavali dušu. Strašnih li časova, ako se tomu pridruži nečista savjest!

Al ima mali čarobnjak, koji u tren oka zna rastjerati sve crne misli u ovakoj situaciji. Jedna jedina žigica spašava čovjeka. Kako je zapališ, sva je soba puna „svjetlosti"; u tren oka doprla je do svakoga kuta sobe, sva je okolina promijenila lice, no i duši tvojoj kao da je smjesta odlanulo. Nije li to gotovo čudo? Što se je dogodilo? Tarući žigicu povisio si temperaturu njezina fosfora toliko, da se on kemički spaja s kisikom uzduha, da „g o r i", a pri tome se javlja ona blagotvorna „svjetlost." Hiljadu smo puta taj pokus izveli i isto toliko puta osjetili, što nam vrijedi svjetlost, no koliko

ih je izmedju nas, koji su se zamislili, bilo samo jedanput, u pitanje: a što je to „svjetlost“? Njezina gotovo čudotvorna moć na svu prirodu i na dušu našu prolazi kraj našega uma gotovo neopažena. Taki smo već mi ljudi: svako čudo za tri dana! Baš poradi toga, što svaki dan uživamo blagodati svjetlosti, što svaki dan gledamo njezine zaista bajne učinke, ona kao da je za obična čovjeka izgubila sav čar tako, da gotovo nikada i ne pita, što je svjetlost, otkuda je i otkuda joj bajna moć?

No za misaona čovjeka ona toga čara ne gubi! Što više gleda na pr. pojave, što ih izvode promjene danje svjetlosti naše — našega žarkoga Sunca — na površini našega planeta, u njegovoj atmosferi i na njegovu tlu, na vrhuncima gora, kao i na visoravni i u nizini, u krajevima vrućega pojasa, kao i u samotnim krajevima polarnim i po ubavim dubravama umjerenih pojasa, htio bi imati jezik pjesnika i kist slikara, da dostojno opiše sve te krasote, što ih opet izvodi naš čarobnjak „svjetlost“.

Nije naša, da ovdje podjemo tom stazom, nije nam ni to svrha, da ovdje crtamo, kako je baš svjetlost ono, što nas preko posebnoga osjetila — oka — najviše sastavlja sa izvanjim svijetom, i kako joj s te strane nema ni s daleka premca. Kako bi bio za nas ograničen svijet i svemir, da nema svjetlosti i organa vidjenja!

Nas podražuje tek pitanje, što je svjetlost, a tražeći odgovor na to pitanje, moramo da podjemo tragom fizičara: treba da rastavimo bujnu navalu pojava svjetlosti u njezina počela, treba da proučavamo pomno z a k o n e, koji svagda i svagdje u svemiru ravnaju te pojave, a tek preko njih se možemo primaknuti odgovoru, koji tražimo. Evo programa za naš novi izlet!

Izmedju izleta u carstvo tonova, koji smo baš svršili, i izletu u carstvo svjetlosti, koji hoćemo da započnemo, na oko nema baš nikakve sličnosti, nikakve sveze; ali samo n a o k o!

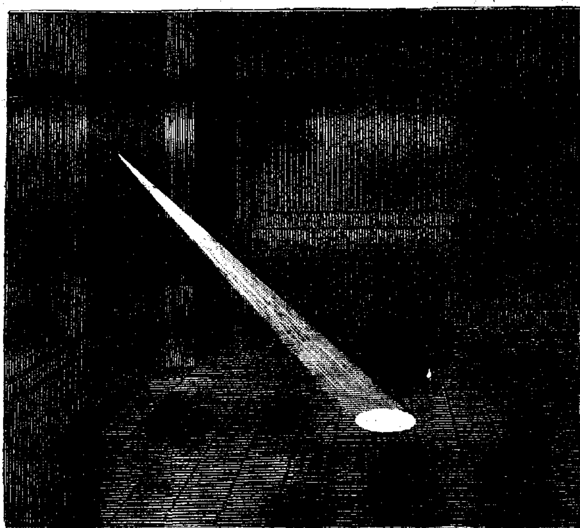
Nauka će nas dovesti do sasma drugih resultata: izmedju valova na vodi, zvučnih valova u uzduhu i pojava svjetlosti postoji veoma velika analogija, i to je baš uzrok, što na ovome mjestu pozivamo prijazne čitaoce na izlet u carstvo svjetlosti i boja.

Ogriješili bismo se o vrhovno načelo svakoga prirodoslovnoga umovanja, kad bismo ovdje htjeli iz bližega razlagati, što nam nauka kazuje o toj analogiji; to bi bilo jednostavno vjerovanje u viši autoritet, pa bila kako lijepa slika, što bismo je mogli razastrti pred duševnim našim okom.

Mi idemo obrnutim putem: najprije studiramo pojave svjetlosti i njihove zakone, a tek iz njih izvodimo zaključke. Ne dvojimo ni časa, da ćemo tim putem svakomu pribaviti sasvim drukčiji užitak, — ako ne sustane na putu prije vremena.

1.

Izvedimo pokus! U tamnoj sobi udesimo stvar tako, da možemo točno ispitivati veoma tanak pramen zraka, gotovo bismo rekli jednu „zraku svjetlosti." Ona neka nam sama kazuje, kako se tjelesa u sobi vladaju spram svjetlosti.



Sl. 84. Pramen sunčane svjetlosti u tamnoj sobi.

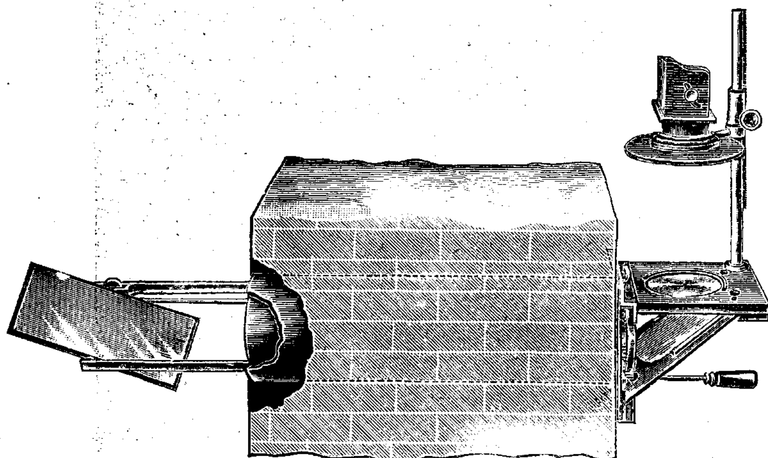
Kao izvor svjetlosti sâmo nam se gotovo nudja — Sunce. No kako da dobiješ zraku sunčane svjetlosti u tamnu sobu? Ništa lakše! Izvrtaj u kapku veoma sitnu okruglu rupicu (sl. 84.) na onoj strani sobe, gdje baš Sunce sja na kapke: Svjetao će se stožac vidjeti u uzduhu sobe, a rubovi su toga stošca savršeni pravci. Svatko kaže: mi vidimo sunčane zrake u sobi. No što mi zaista vidimo? Ni uzduha ne vidimo, ni svjetlosti, nego samo čestice prašine, ili dima, koje lebde u uzduhu osvijetljene sunčanom svjetlošću, vide se na tamnom zatku sobe. Zrake se svjetlosti dakle ne vide! Izraz „zrake svjetlosti" jamačno je uzet od poznatoga pojava o zalasku

Sunca, kad se Sunce skrije za oblak, a iza njega izbijaju na sve strane „zrake Sunca“ kao pruge više ili manje široke, a na njima se jasno ističe upravan smjer. Ali i tu vidimo tek čestice prašine u uzduhu, obasjane sunčanom svjetlošću, gdje se ističu s tamnijeg zaledja atmosfere. No što zaista možemo izvoditi iz ovih pojava?

Ma što bila svjetlost, za nju vrijedi princip:

Svjetlost se rasprostire u uzduhu u pravcima.

Naš prvi pokus odao nam je važni taj princip o svjetlosti. Zaustavimo se časak kod njega! U običnoj sobi, t. j. u sobi, gdje je uzduh više ili manje pun prašine, ili dima, vidimo zrake svjetlosti, u čistu je uzduhu ne bi vidjeli, jer svjetlost nevidjena prolazi

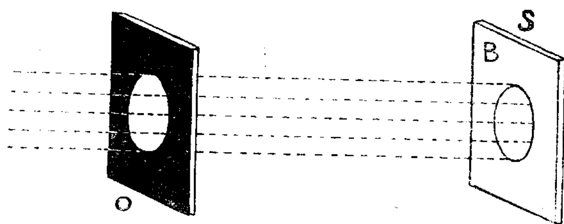


Sl. 85. Heliostat.

kroz uzduh: riječ „zraka“ i ovdje nam, kao i kod vodenih valova i zvučnih dakle označuje tek smjer, u kojem se svjetlost rasprostire, ali nije ništa realno. Bit će dobro, da to već sada upamtimo.

Još bismo nešto odmah ovdje pribilježili. Ne ide svjetlost kroz našu atmosferu svagda u pravcima! Kako je naime atmosfera sastavljena od vrsta različne gustoće (gore su tanje, a dolje, na površini zemlje, gušće), vidjet ćemo poslije, da svjetlost, koja mora da ide kroz sve te vrste, ne ide u pravcima kroz atmosferu. Da se svjetlost rasprostire u pravcima, za to treba da bude prozračno tijelo, kroz koje ide (uzduh, koji drugi plin, voda, petrolej itd.), svagdje sasvim jednake gustoće, ili kako bi nauka rekla, treba da bude „homogeno.“

Kako bismo još dalje mogli ispitivati pramen sunčane svjetlosti u našoj tamnoj sobi, treba da uklonimo malu nepriliku kod prvoga našega pokusa: sunčana nam zraka redovno pada koso u sobu. Kako bismo joj dali smjer vodoravan, ili bilo koji drugi, upotrebit ćemo zgodno kod naših pokusa sa sunčanom svjetlosti aparat, koji je u nauci dobro poznat uz ime „heliostat“ (sl. 85.). Zid se sobe izdube na zgodnu mjestu, obrnutu na pr. na jug, pak se utakne u kanal mjedena cijev, koja nosi na izvanjem kraju ravno zrcalo. Ono hvata nešto sunčane svjetlosti, pak je odbija kroz kanal u tamnu sobu. S pomoću se posebnih ključeva može zrcalo iz sobe tako ravnati, da sunčana svjetlost baš vodoravno ulazi u tamnu sobu. Kako se Sunce po nebu pomiče, namješta se i zrcalo po malo drukčije, kako bi zraka u sobi svagda ostala vodoravna (horizontalna). Treba li, da zraka ide osovno u vis (vertikalno), podmetne se koso pramenu zraka u sobi drugo ravno zrcalo, koje će ga baciti na strop



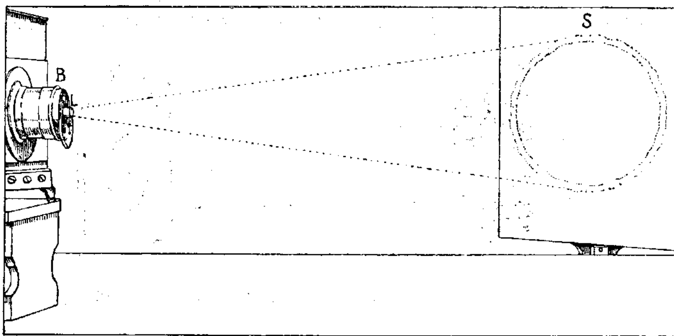
Sl. 86. Zrake sunčane svjetlosti su paralelne (usporedne).

sobe. (U slici je i to zrcalo podmetnuto.)[1] S pomoću ove sprave možeš lako zrake sunčane svjetlosti u tamnoj sobi po volji ravnati. Ima i takih heliostata, koji sâmi (s pomoću ure) namještaju svoje zrcalo prema Suncu.

No sa Suncem je dosta velika neprilika fizičaru: sunčane svjetlosti ima tek po danu, a i tu se često sakrije za oblake, pak bismo u svom proučavanju bili suviše sputani. Poradi toga u novije vrijeme naknadjuju prirodno Sunce umjetnim, koje daje jaku, bijelu svjetlost, a za to je izvrsna električna ugljenova svjetlost: iza sunčane je svjetlosti ona danas najjača umjetna svjetlost, a po bjelini je svojoj veoma nalik na sunčanu. Jaka električna struja teče kroz dva ugljena, koji su si nasusret. Kad su nekoliko milimetara razmaknuti, usja struja krajeve ugljena do najbjelijega žara, a i uzduh izmedju njih

[1] Ovaj je heliostat pisac ove knjige konstruirao za fizikalni kabinet šumarske akademije u Zagrebu.

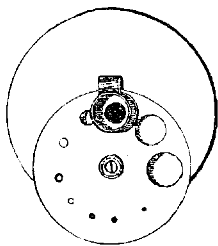
svijetli. Ako se ugljeni zatvore u limenu kutiju s okruglim otvorom na prednjoj strani, imamo izvor jake svjetlosti, umjetno Sunce, koje sasvim naknadjuje prirodno, a mogu s njime raditi i danju i noću sasvim nezavisno o hirovima vremena, — ako imam dosta jaku električnu struju. No toga je još malo i u većim mjestima Hrvatske, koja je s te strane daleko, daleko zaostala iza kulturnih zemalja. Ovaka „električna lampa“ mora da ima još i spravu za automatično ravnanje daljine obiju ugljena — uru — koja će ugljene primicati jedan drugomu prema tomu, kako na krajevima gore (isp. Kučera: Crte o magnetizmu i elektriciteti. Zagreb, 1890. str. 234). Ovaka električna lampa ipak ne naknadjuje posvema Sunca, jer je u jednu ruku sunčana svjetlost ipak još mnogo jača od električne, a u drugu su ruku zrake sunčane svjetlosti, koje kroz otvor helio-



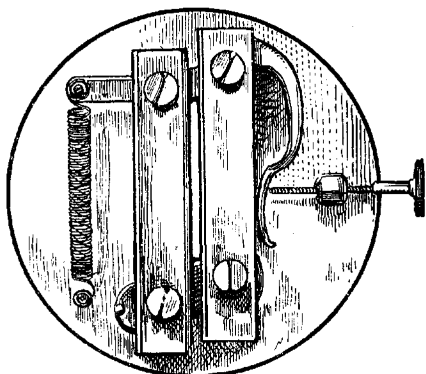
Sl. 87. Zrake svjetlosti iz jedne točke jesu divergentne (razilaze se).

stata ulaze u tamnu sobu, medju sobom usporedne (paralelne). Ako je na pr. (sl. 86.) *O* okrugao otvor heliostata, na koji ulazi širok pramen zraka sunčanih u sobu, načinit će se na suprotnu duvaru svijetao krug *B*, koji je baš tako velik, kao otvor *O*. Sasvim je drukčije kod naše električne lampe! Ako pustimo svjetlost naših ugljena kroz otvor *B* (sl. 87.) naše lampe na bijel zastor *S*, bit će svijetao krug to veći, što je zastor dalje od lampe, a i rub će kruga biti sasvim nejasan (neoštar). Svjetlost ugljenova izbija iz jedne točke u pravcima na sve strane, ona je „divergentna.“ Ovomu se nedostatku električne lampe može pomoći: na otvor se lampe natakne zgodna staklena leća, koja od razrokih zraka načini medju sobom usporedne zrake. Ako se sada namješta zastor u različne daljine, bit će krug otvora svagdje jednak.

Za naše pokuse treba često veoma tankih, okruglih ili uskih upravnih pramenova svjetlosti. Na heliostatu i na električnoj se lampi oboje može lako dobiti, ako se na otvor njihov natakne ili crna ploča s cijelim nizom okruglih rupica različne veličine (sl. 88.; ako ju



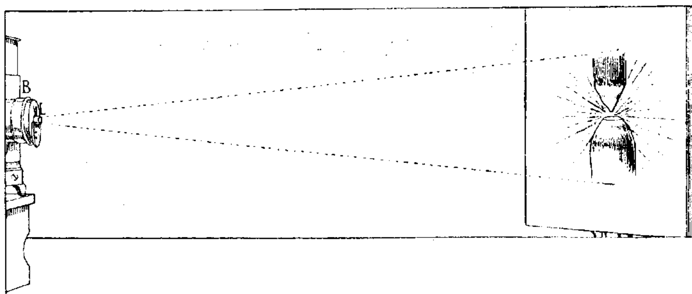
Sl. 88. Pločica s rupicama.



Sl. 89. Uska pukotina za zrake svjetlosti.

okrećeš, propušta svagda tek po jedna rupica svjetlost), ili pak „pukotina“ (sl. 89.), koja propušta uzak upravan pramen zraka. Pukotinu možeš s pomoću šarafa po volji raširiti, ili suziti.

Smjesta će nam se znanje o zakonima svjetlosti raširiti, ako upotrebimo za pokuse na pr. okrugle rupice. Iz lampe izvadimo

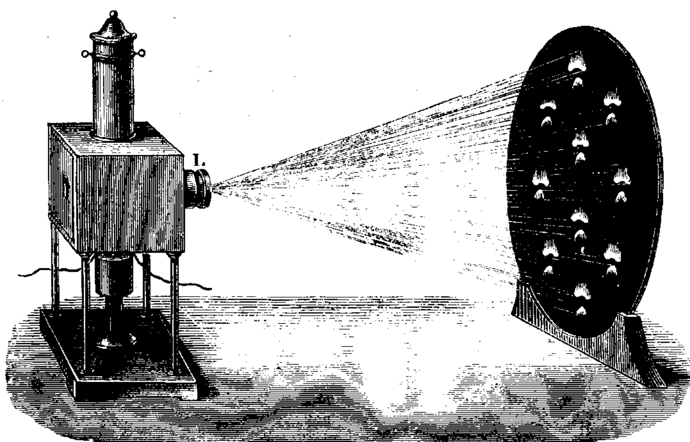


Sl. 90. Obrnuta slika predmeta kroz malu rupicu.

leću i na otvor nataknemo pločicu *B* s najmanjom rupicom (sl. 90.). Na zastoru, udaljenu nekih 6 metara, vidimo oba usjana kraja ugljena i izmedju njih vrstu uzduha, koja se plavkasto svijetli. No ako bolje pogledamo, opazit ćemo, da je ta slika ugljenâ obrnuta: ugljen,

koji je u lampi gore, na slici je dolje i obrnuto. Otkuda najednoć ta slika i što nam ona kazuje o svjetlosti?

Od svih mjesta usjana ugljena očito izbija svjetlost na sve strane. O tom bismo se s mjesta uvjerili, kad bismo lampu iz limena ormara izvadili i metnuli na stol u sred sobe: sva bi soba bila rasvijetljena. No kako smo lampu zatvorili u limen ormarić i svjetlost ispuštali tek na najmanju rupicu, očituje nam ona s mjesta prvi svoj princip, što ga gore već uočismo na osnovi motrenja. Izabereš li na slici bilo koju točku, na pr. najgornju točku šiljastoga ugljena, pak ju u misli sastaviš pravcem s rupicom i taj pravac produžiš u lampu, udarit će on posvema točno na najgornju



Sl. 91. Obrrute slike ugljenove električne svjetlosti kroz cio niz malih rupica.

točku šiljastoga ugljena u lampi, koji je u lampi donji ugljen. To vrijedi i za svaku drugu točku i slike i izvora naše svjetljosti — ugljena: svaka je točka slike baš posvema točno na onome pravcu, što si ga kroz rupicu povukao od svijetle točke na ugljenu, koja odgovara odabranoj točki slike. Pokus nam dakle u jednu ruku potvrdjuje, da se svjetlost od svake svijetle točke rasprostire u pravcima, a u drugu nam je ruku na osnovi toga principa jasno, zašto je na zastoru postala obrnuta slika. Mi smo naš princip novim pokusom još jače utvrdili. Idemo, da ga još dalje ispitujemo i učvršćujemo. Što izlazi iz principa, ako bi mjesto jedne bilo na pr. deset malih rupica u pločici ispred lampe? Očito bi svaka od njih djelovala kao ona jedna: na zastoru bismo morali vidjeti deset

slika ugljena. Pokus (sl. 91.) to zaista i potvrdjuje! Stotina bi rupicâ dalo stotinu sličica, a tisuća rupica njih tisuću. No kako su rupice sve bliže jedna drugoj, kako dakle pločice sve više nestaje, tako i sličice sve više pokrivaju jedna drugu: konture slika postaju sve nejasnije i sve se više stapaju. Kad bismo dakle mjesto jedne male rupice od 1 mm^2 uzeli rupicu od 1 cm^2, mogli bismo uzeti, da je ta veća rupica sastavljena od 100 onih manjih, a da je jedna do druge. Svaka mala rupica sâma za se dala bi oštru sliku ugljena; no te se sličice djelomice pokrivaju, a pošljedak je, da na zastoru vidimo



Sl. 92. Obrnuta slika svijeće kroz malu rupicu u tamnoj sobi.

ojednaku rasvjetu, ali ne vidimo više slike ugljena. Dignemo li pak pločicu sasvim s lampe, zastor je posvema jednolično rasvijetljen. Mogli bismo reći: svjetlost na zastoru dolazi otuda, što se pokrivaju tisuće sličica ugljenovih. Svjetlost bijela duvara može se uzeti kao posljedica toga, da se nebrojene sličice Sunca pokrivaju.

Evo na prvomu našem koraku u područje svjetlosti opazismo, kako je bilo dobro, što pokuse izvodismo s tankim pramenom svjetlosti, umjesto sve bujice, koja izbija iz izvora njezina!

Princip, da se svjetlost rasprostire u pravcima na sve strane od svoga izvora, znali su već stari narodi. Oni ga ne nadjoše do-

duše ovako savršenim pokusima i izvodima iz njih, no oni ga ipak opaziše po tome, što neprozračna, pa bilo i malena, pločica izmedju oka i svijetle točke tu točku zastire. Da svjetlost od točke ide u kakim krivuljama, umovahu oni, obišla bi pločicu i mi bismo morali vidjeti svijetlu točku. No ovaj princip i još jedan, o kojem ćemo čas kasnije razgovarati, bilo je i sve, što su stari o svjetlosti znali.

Naša je prva zadaća u ovome izletu u carstvo svjetlosti, da stečemo što potpunije znanje o njoj na osnovi nauke. No ipak ne ćemo oholo s puta da idemo ni primjenama toga znanja. Pa tako je evo već prvo naše znanje o svjetlosti sobom donijelo lijepu primjenu, poznatu danas svemu svijetu: „kameru obskuru“ ili kraće „kameru“, koju danas u preinačenu obliku fotografi toliko upotrebljavaju. Ime je latinskoga podrijetla: „camera obscura“ = tamna sobica.

Treba da se kod nje na časak ustavimo. Slika 84. zapravo ne pokazuje drugo, nego taku kameru u velikoj mjeri, a na podu vidimo sliku Sunca. No kad bismo u svojoj inače sasma tamnoj sobi zatvorili i onu malu rupicu, kroz koju prodire sunčana svjetlost, a u sobi zapalili svjećicu, a u karti napravili iglom rupicu, vidjeli bismo na zastoru obrnutu sliku svijeće (Sl. 92.).

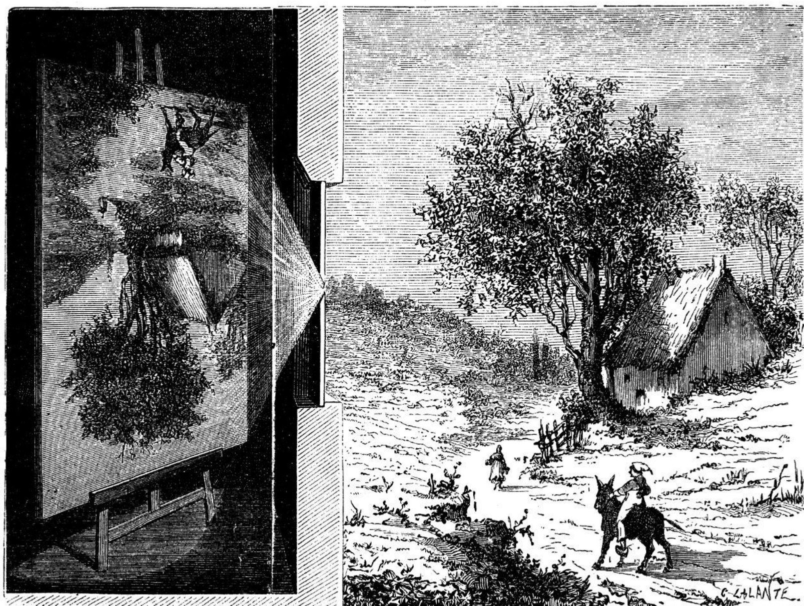
Umjetne kamere obskure nisu drugo, nego mali ormarići od tamna drva, zatvoreni sa svih strana. Na prednjoj je strani mala rupica, a na stražnjoj ploča neprozračna stakla (bijeloga stakla!) Ako je zastrta od svjetlosti sa strane (fotograf prebaci crnu krpu), vidiš na staklu obrnute slike svih predmeta, od kojih dolaze zrake svjetlosti na rupicu, pak ih možeš na ploči baš narisati, ili pak, ako bijelu staklenu ploču naknadiš fotografičnom pločom, možeš ih i fotografirati. U najnovije se vrijeme baš ovake kamere s rupicom zaista s uspjehom upotrebljavaju u fotografiji (Goertz u Berlinu). Možeš pače i veličinu slike po volji odrediti: što je bliža staklena ploča rupici, to je manja slika i obrnuto.

Ako je baš ispred rupice u kapku tamne sobe kaki kraj dobro osvijetljen sunčanim zrakama, ili bar svjetlošću od vedra neba (sl. 93.), možeš u njoj namjestiti slikarski zastor i na njem će svaki predmet kraja sâm naslikati svoju sliku u prirodnim bojama i čudit ćeš se, kako su sve tančine boja (nuance) dobro naslikane. Slika će biti to ljepša, što je manja rupica i što je čitavi kraj dalji od nje.

Još nam je izvesti važan posljedak zakona o rasprostiranju svjetlosti u pravcima: postajanje sjene.

Oblici će sjene, što je bacaju neprozračna tjelesa, biti različni prema tomu, da li svjetlost izbija iz jedne svijetle točke (ili bar iz izvora toliko malena, da se može uzeti za svijetlu točku), ili pak iz čitava svijetloga tijela.

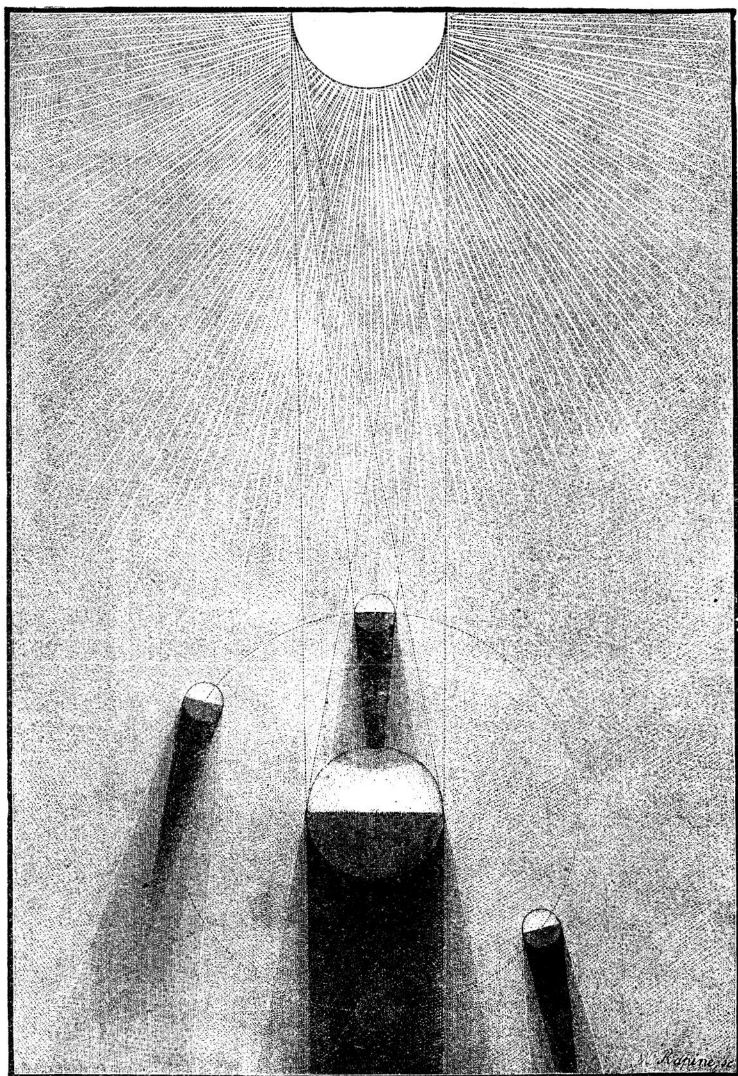
Uzmimo kao izvor svjetlosti svijetlu točku, iz koje izbijaju zrake svjetlosti na sve strane u pravcima. I na heliostatu i na električnoj lampi možemo lako dobiti taki mali izvor svjetlosti. Pramen svjetlosti, koja izlazi iz lampe ili heliostata, uhvatim staklenom lećom, namještenom u zgodnoj daljini; ona će pramen usporednih zraka



Sl. 93. Slika kraja u tamnoj sobi (camera obscura).

skupiti u stožac zraka, koje teku sve k jednoj točki — vrhu svijetloga stošca i onda se opet iz te točke razilaze. Zašto je to, o tome će biti kasnije govor: sada se tek koristimo ovim učinkom leće, kako bismo dobili točku kao izvor svjetlosti. Iz nje izlazi svjetao stožac zrakâ, koje će na zastoru dati rasvijetljen krug. U nj namjestim crnu malu daščicu na pr. eliptičnoga oblika; na zastoru vidimo oštro ograničenu sasma crnu sjenu daščice. Otkuda to? Sve zrake iz svijetle točke idu u pravcima; gdje ih neprozračna daščica ustavlja, tamo je na zastoru tama.

Sasvim je drukčija pojava sjene, kad svjetlost dolazi od ovećega izvora svjetlosti, na pr. iz heliostata, ili lampe, kad nisu pokriti



Sl. 94. Pomrčine Sunca i Mjeseca.

pločom. Uklonimo samo leću predjašnjega pokusa. Sjena daščice je sasvim drukčija: oko sasvim crne eliptične sjene njezine u sredini

načinila se ovelika manje tamna sjena, koja postepeno postaje sve slabija i napokon prijedje u punu svjetlost. Prvi dio zovemo „sjenom“, a drugi „polusjenom.“ Sjena je ondje, kuda ne dopire svjetlost ni s jedne točke izvora svjetlosti, a polusjena postaje tim, da na ona mjesta s nekih dijelova izvora dolazi svjetlost, a s drugih ne dolazi.

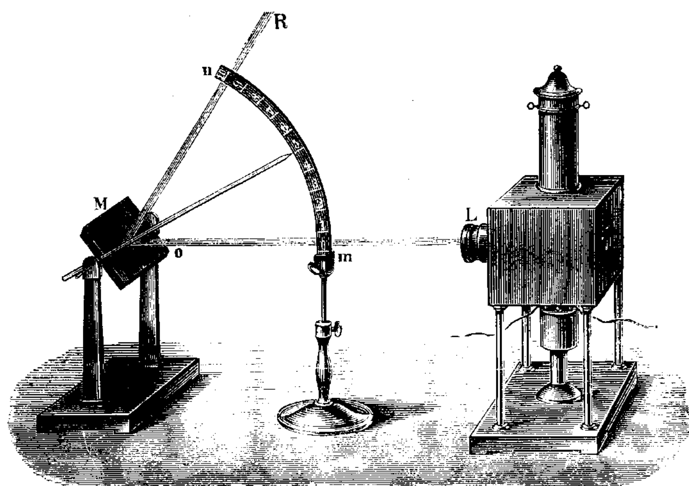
Pomrčine Sunca i Mjeseca dva su pojava, gdje nam priroda sama u velikoj mjeri daje potvrdu za naše mišljenje o sjeni i polusjeni. Kada se neprozračna ploča Mjesečeva nadje u pravcu izmedju Sunca i Zemlje (središta svih triju kuglî treba da budu na istome pravcu!), stoščevita sjena njegova izvodi na onim mjestima Zemlje, na koja baš pada, ili posvemašnju (totalnu) ili kolutastu (anularnu) pomrčinu Sunca prema tomu, da li je prividna širina Mjesečeve ploče u onaj čas veća, ili pak manja od širine sunčane ploče, ili, što napokon izlazi na isto, prema tomu, da li vrh stoščevite sjene Mjesečeve još tiče površinu Zemlje, ili ne (Sl. 94.). Treba naime znati, da Sunce i Mjesec nisu svagda jednako daleko od Zemlje: što su nam bliži, to je veća prividna širina ploča njihovih i obrnuto; no razlike su dosta malene, pak ih tek možeš opaziti, ako duže vremena baš tomu posvetiš pažnju: Sunce nam se čini na pr. uvijek oko nove godine nešto veće, nego početkom srpnja, jer nam je u siječnju najbliže, a u srpnju je najdalje od nas; razlika je daljina gotovo pet milijuna kilometara. Studij naše slike pokazat će svakomu, zašto je stožac sjene Mjesečeve ograničen, dok je stožac polusjene neograničen, on seže u neizmjernost, ako je izvor svjetlosti veći od tijela, koje baca sjenu. Zadje li Mjesec u stožac sjene zemaljske (donji dio slike), postaje pomrčina Mjeseca.

Makar kako nam se činio ovim pojavima u prirodi i našim pokusima dokazan prvi princip svjetlosti, princip, da se svjetlost u homogenu sredstvu rasprostire u pravcima, on ipak nije sasvim ispravan! Vidjet ćemo poslije, da on unutar nekih, doduše veoma uskih granica, ne vrijedi sasma točno: i svjetlost skreće u nekim slučajevima s pravoga puta, kao i čovjek griješnik, i svjetlost zna kraj neprozračna tijela gdjekada skrenuti uko ugla. No dok ne udarimo o take pojave, uzet ćemo, da se svjetlost zaista rasprostire u pravcima, dok je prozračno tijelo, u kojem se rasprostire, svagdje jednoliko ili homogeno.

2.

Odbijanje svjetlosti (Refleksija). Tko ne pozna zrcala? U svakidanjem im je životu svrha, da nam pokazuju više ili manje

uspjele slike naših obraza, dakle udovaljavaju našoj taštini. I nauka ih o svjetlosti (optika) puno upotrebljava, ali ona taštine ne poznaje, ona tek hoće da zna, zašto nam zrcalo pokazuje sliku naših obraza? Upitajmo opet naš tanki pramen svjetlosti! Iz naše lampe *L* izlazi (sl. 95.) iz uske pukotine uzak pramen svjetlosti i pada na malo zrcalo *M*, koje se može okretati. Na njem je okomito učvršćen štap, koji pokazuje kao kakvo kazalo na broj 5 jednoga luka. U tamnoj sobi vidiš veoma jasno, kako pramen svjetlosti kroz uzduh ide do zrcala u pravcu, i da nema zrcala, vidio bi na suprotnom duvaru sobe sliku uske pukotine. No kako smo pramenu svjetlosti zakrčili put neprozračnim zrcalom, nema na duvaru slike



Sl. 95. Odbijanje svjetlosti.

pukotine, ali umjesto toga vidimo sasma nov pojav: od onoga mjesta zrcala, gdje na nj pada pramen svjetlosti, izlazi u prostor sobe drugi pramen svjetlosti; on na prašini sobe bilježi svoj put i poradi toga ga u tamnoj sobi lijepo vidimo; napokon udari o strop sobe i tamo vidimo sada sliku pukotine. Velimo: „svjetlost se od zrcala odbija ili reflektira". Kako sada zrcalo okrećem, tako mijenja i odbijeni pramen svjetlosti svoj položaj u sobi: svijetla se pjega na stropu giba i vrteći zrcalo mogu pjegu otpraviti, kud god hoću. Očito je dakle, da ima nekaki zakon, nekaka sveza, izmedju položaja zrcala i odbijena pramena svjetlosti. Luk razdijeljen u stupnjeve (pun krug se dijeli u 360° stupanja!)

s mjesta nam otkriva taj zanimljivi zakon: luk kruga od 5 do *m* baš je tako velik kao luk od 5 do *n*. Odbijena zraka *MR* čini s kazalom jednak kut, kao što ga s njim čini zraka *Lo*, koja udara o zrcalo — dat ćemo joj ime „udarna zraka“, kako bi se kraće izrazivali; u našoj slici ima svaki od tih kutova 30°, jer je od *0* do *1* baš šest stupanja. Kad bismo zrcalo tako okrenuli, da kazalo pokazuje na broj 4, prolazila bi odbijena zraka kraj broja 8: jedan bi i drugi kut imao 24 stupnja. Kad bismo kazalo okrenuli do 1, prolazila bi odbijena zraka kraj 2, a kad bismo ga namjestili baš na nulu, išla bi i odbijena zraka kraj nule: zraka koja na zrcalo okomito udara, odbija se od njega u svoj vlastiti smjer natrag.

Kazalo, koje smo namjestili okomito na zrcalo, zvat ćemo od sada „okomicom“ zrcala ili učenije „normalom“ zrcala, pak ćemo onda posljedak svojih pokusa moći sabrati u ovo nekoliko riječi:

„Odbijena zraka“ svjetlosti čini s normalom zrcala svagda isti kut, što ga s njom čini „udarna zraka“ ili još kraće: „Kut odbijanja svagda je jednak kutu udaranja.

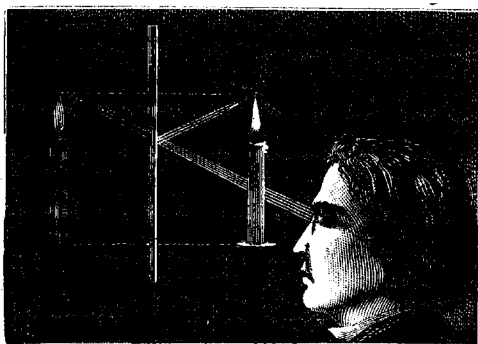
Ovo je drugi temeljni princip za svjetlost u prostoru i u njem se ističe vladanje svjetlosti spram neprozračnih sasma ravnih i gladkih zrcala. Ime će tomu principu biti: zakon odbijanja svjetlosti.

Iz ovoga zakona izlazi smjesta izvod, koji je praktično dosta važan. Vidjesmo udarnu zraku kod nule naše skale i odbijenu takodjer baš kod nule. Okrenimo kazalo na 1, odbijena zraka ne ide više kraj nule, nego kraj broja 2, a to će reći: dok se zrcalo okrenulo za 6 stupanja, okrenula se odbijena zraka za dvostruk kut, naime za 12 stupanja. To bismo mogli i dalje potvrdjivati okrećući kazalo na brojeve 2, 3, 4 i 5; vidjeli bismo odbijenu zraku kod brojeva 4, 6, 8 i 10. Dakle vrijedi općeno: Odbijena se zraka svagda okrene za dvostruki kut ogledala. S pomoću ovoga se zakona mogu veoma neznatna gibanja u neobičnoj mjeri uvećavati. To je zaista Gauss prvi upotrebio kod svojih istraživanja o zemaljskom magnetizmu, a danas je sva sila, navlastito električnih aparata, gdje se ovaj zakon upotrebljava, da uvećava i točno mjeri sitna gibanja s pomoću odbijene zrake svjetlosti. Osobito je pak važna primjena ovoga zakona kod sprava, kojima mineralozi i kemičari mjere kutove, što ih čine ravne i glatke plohe ledaca ili kristala, kako bi ih prepoznali. Te se sprave zovu „goniometri“ (od grčkih riječi gonia = kut; metron = mjera). Najvažniji su Babi-

netov goniometar i Wollastonov goniometar; no ovdje nije mjesto, da ih podrobno opisujemo. Umjesto toga bit će nužno, da iz bližega uočimo druge primjene zakona odbijanja.

U prvom nam je redu na umu pitanje: zašto pokazuje zrcalo sliku svakoga predmeta. Ako je zaista zakon odbijanja jedini zakon za zrcalo, mora da iz njega nužno izlazi postajanje slike. Kušajmo to objasniti, pak ćemo opet imati neki duševni užitak, znajući objasniti jedan od svakidanjih pojava.

Slika 96. pomoći će nam, da do toga dodjemo. Pred osovnim zrcalom stoji plamen svijeće (izvor svjetlosti). Od svake točke plamena izlaze zrake svjetlosti na sve strane u pravcima. Razmatramo tek nekoliko zraka, koje izlaze baš iz vrha plamena; dolaze na zrcalo i tamo se odbijaju po zakonu jednakih kutova. Iz smjera odbijenih zraka razabiramo, da u oko dolazi sa zrcala pramen zraka razročnih (divergentnih), za koje mu se čini, da izlaze iz jedne točke iza zrcala. Oko zaista traži ishodište pramenu zraka u toj točki i vidi ondje sliku plamenova vrha. Ta slika zaista ne postoji, jer zrake svjetlosti u istinu ne idu za zrcalo: slika je samo subjektivna, ili, kako bi nauka rekla, slika je „virtuelna“. Razbiramo dakle, da je uzrok postanku slike u tome, što oko naše izvor svjetlosti traži ondje, gdje se razročne odbijene zrake, koje u oko dopiru, prividno sastaju.

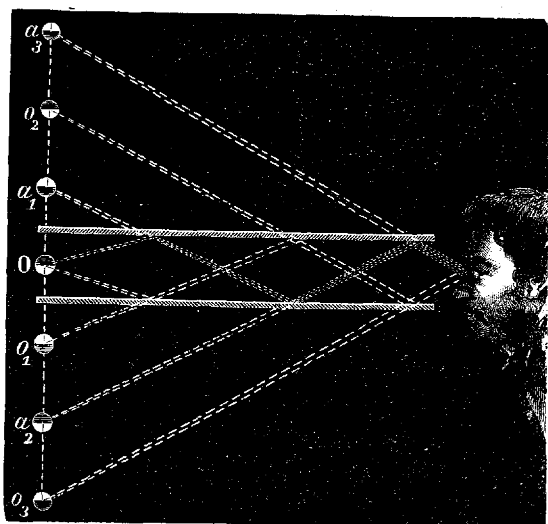


Sl. 96. Kako postaje slika u ravnu zrcalu.

Izbija smjesta i činjenica, da je slika plamenova vrha točno toliko iza zrcala, koliko je sam vrh plamena ispred njega, pak se po tome lako može odrediti crtnjom mjesto slike: s vrha plamena povučeš okomicu na zrcalo i produžiš ju iza zrcala za vlastitu joj dužinu. Donji će kraj svijeće dati svoju sliku na isti način, a isto tako i sve druge točke izmedju njih. Slika dakle bilo kojega čitavoga svijetloga predmeta sastavit će se od slikâ pojedinih mu točaka, koje postaju po čas prije istaknutu pravilu.

Izbija dakle kao nužna posljedica zakona odbijanja veoma važan izvod: U ravnu zrcalu vidi oko od svakoga predmeta virtuelnu sliku, kojoj su pojedine točke tako daleko iza zrcala, koliko su te točke svijetloga predmeta ispred zrcala.

Na toj ćemo osnovi sada lako razumjeti slikanje tjelesa u zamršenijim slučajevima. Da istaknemo zanimljivije! Ako staneš medju dva usporedna ravna zrcala, vidjet ćeš cio niz slika svoga obraza i stražnje lubanje. U zrcalu, u koje gledamo, vidimo sliku obraza, drugo pak zrcalo daje virtuelnu sliku stražnje lubanje, koja u prvom

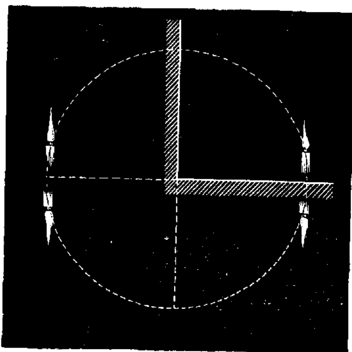


Sl. 97. Slike medju usporednim zrcalima.

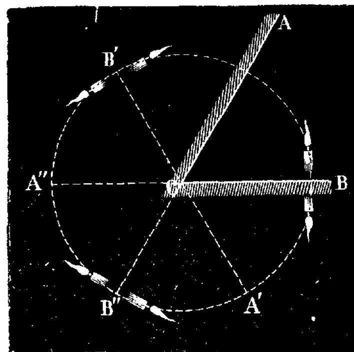
zrcalu izvodi ponovnu svoju sliku. Slika 97. razjašnjuje to bez daljega tumačenja. Izmedju dva usporedna zrcala je svijetlo tijelo *O*, a slike su a_1, o_2, a_3 s jedne, a o_1, a_2, o_3 s druge strane. Ako je oko na zgodnu mjestu, vidi beskonačan niz sve slabijih slika, jer se svjetlost ponovnim odbijanjem od zrcala po malo slabi. U dvorani sa zrcalima na suprotnim duvarima vidjet ćeš se naizmjence s prijeda i s traga u svakom zrcalu.

Ako pak dva zrcala sastaviš tako, da čine kut, vidjet ćeš opet drukčije pojave: prema tomu, kolik je njihov kut, bit će ograničen broj slika jednoga jedinoga tijela. Slike 98., 99. i 100. pokazuju to za kute od 90, 60 i 45 stupanja.

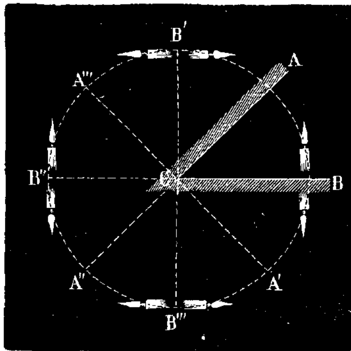
Engleski znameniti fizik Brewster (izgovori: Bruster, živio 1781.—1868.) upotrebio je ovo mnogostruko slikanje istoga predmeta u ravnim zrcalima priklonjenim pod kutom, da načini poznatu lijepu igračku „kaleidoskop". U cijevi su od ljepenke tri zrcala, koja se stiču pod kutima od 60°. Zrcala su gore i dolje zatvorena



Sl. 98. Slike u zrcalima pod kutom od 90°



Sl. 99. Slike u zrcalima pod kutom od 60°.



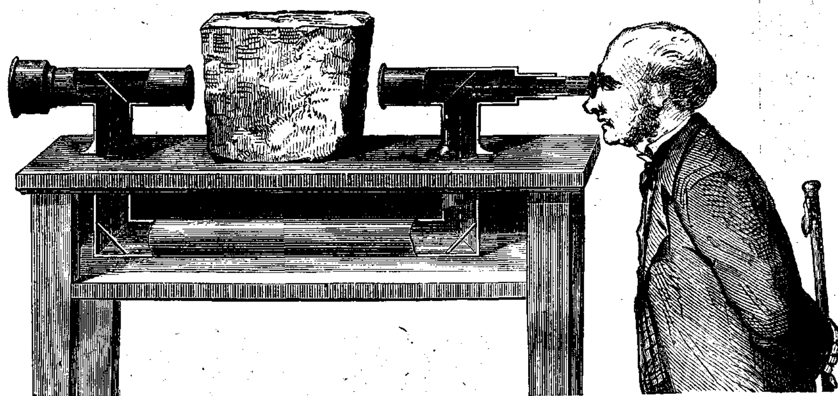
Sl. 100. Slike u zrcalima pod kutom od 45°.

staklenim pločicama, a medju njima je nekoliko komadića šarena stakla. Gledaš li kroz malu rupicu u kaleidoskop, vidiš i kamenčiće i mnogostruke njihove slike, koje postaju odbijanjem svjetlosti od sva tri zrcala. Postaju tako lijepe i pravilne slike, koje možeš po volji mijenjati, okrećući cijev. Vrijedno je ovdje spomenuti i „magični durbin", na koji vidiš i kroz neprozračan kamen (sl. 101.). Slika ga posvema razjašnjuje. U opće će sada svatko, tko poznaje zakon odbijanja i slikanja u ravnu zrcalu, u svakom slučaju moći i sam unaprijed odrediti, što će vidjeti u zrcalima.

Do sada su nam zrcala bila ravne plohe dobro polirane (glatke). No mi možemo za zrcala upotrebiti i krive plohe, ako su dobro polirane (izbrušene), na pr. plohu kugle, valjka, stošca, ili bilo koje druge plohe. Kake se grdobne slike mogu vidjeti u takim

zrcalima, zna svatko iz onih kabineta, koji se na sajmovima često pokazuju svijetu: tanak se i mršav krojač premetne u debela pivara i obrnuto; čovjek pravih nogu, vidi se krivonog kao slovo *X* ili *O*, a iz najumiljatijega lišca djevojke znaju načiniti pravu grdobu. Sve to pak biva tim, što zrcala nisu r a v n a.

Proučavajmo najprije odbijanje svjetlosti i na tom osnovano slikanje tjelesa u zrcalima, koja su d i j e l o v i **k u g l e**. Odrežeš li na pr. mjedenoj šupljoj kugli k a p i c u, dobit ćeš od nje u g n u t o zrcalo, ako ju iznutra poliraš (izbrusiš), a p u p č a s t o, ako ju i z v a n a izbrusiš. Oba se zrcala zovu zajedničkim imenom „s f e r i č n a z r c a l a“ (od grč. sfaira = kugla).

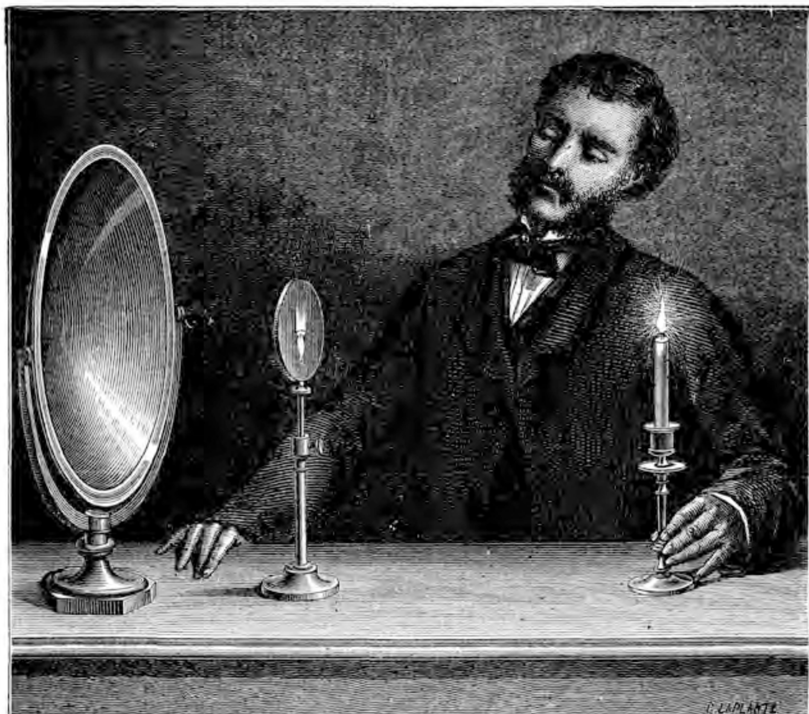


Sl. 101. Magičan durbin.

Da vidimo što nam pokazuje u g n u t o z r c a l o, ako preda nj namjestimo u različne daljine plamen svijeće. Uzet ćemo, da je plamen „u o s o v i n i“ zrcala, t. j. na neograničenu pravcu, koji sastavlja vrh kapice sa središtem kugle, kojoj ta kapica pripada (p o l u m j e r k r i v i n e).

Namjestimo plamen svijeće pred zrcalom u daljini v e ć o j od p o l u m j e r a k r i v i n e (Sl. 102.). S pomoću maloga zastora od prozračna papira, koji hvata zrake odbijene od zrcala, lako ćeš naći, da se načinila i s p r e d zrcala obrnuta slika predmeta m a n j a od predmeta u jednoj točki osovine, koja je izmedju središta kugle i sredine polumjera. Ovoj točki u sredini polumjera dajemo posebno ime „g l a v n o ž a r i š t e“ zrcala. Zašto je dobila baš to ime, vidjet će se čas kasnije. Ideš li sa svijećom sve dalje, morat ćeš sa zastorom sve

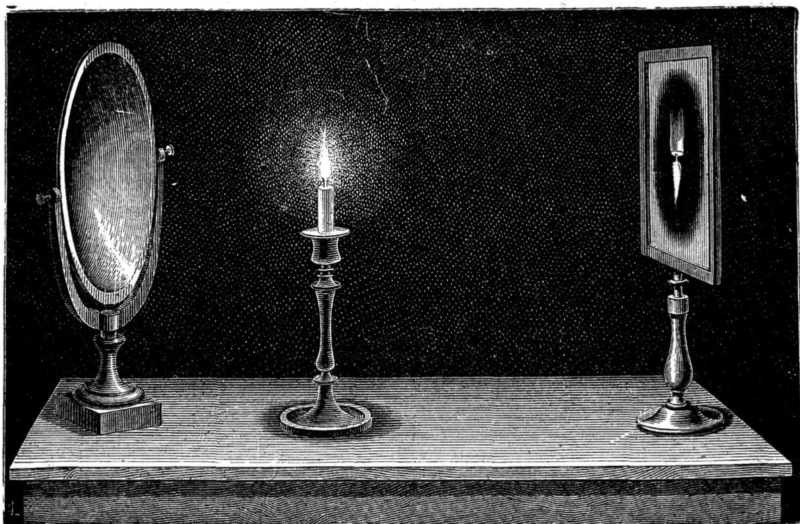
bliže k sredini polumjera, a slika će bivati sve manja, ostajući svagda obrnuta. Ideš li pak svijećom natrag sve bliže k središtu kugle, vidjet ćeš, kako se slika, sveudilj obrnuta i manja od predmeta, sve više primiče takodjer središtu kugle, ali uz to postaje sve veća. Dodje li svijeća baš u središte kugle, naći će se tamo i njezina slika, pak će se s njom podudarati i po položaju i po veličini, ali će biti obrnuta. Približujmo se svijećom još više ugnutomu zrcalu.



Sl. 102. Ugnuto zrcalo; obrnuta i umanjena slika predmeta.

Slika će ići sve dalje od središta s onu stranu njegovu, ali će postajati sve veća (sl. 103.): što se više svijeća primiče glavnomu žarištu zrcala (t. j. točki osovine u sredini polumjera), slika mu se to više uvećava udaljujući se sve više na osovini od zrcala; sve je nejasnija, a poradi veličine ju čitavu ne možeš ni da uhvatiš na zastoru. Kad je plamen svijeće baš u žarištu, slika je u neizmjernosti, posvema se izgubila.

Sve do sada mogosmo sliku ugnuta zrcala uhvatiti na papiru zastora. Toga kod ravna zrcala ne mogosmo učiniti. Zašto ne? Zrake svjetlosti, koje su izbijale iz svijetle točke, odbijale su se na ravnu zrcalu tako, da su se nakon odbijanja razilazile (isp. sl. 96.). Mi dobismo virtuelnu sliku na mjestu, ne gdje se odbite zrake u istinu sastaju, nego ondje, kuda ih je oko naše smjestilo. Ako se pak zrake svjetlosti, koje izbijaju iz svijetle točke nakon odbijanja, zaista stiču k jednoj točki, tako da se sve u njoj sijeku, e onda će tamo biti prava, objektivna ili, kako nauka veli, „re-

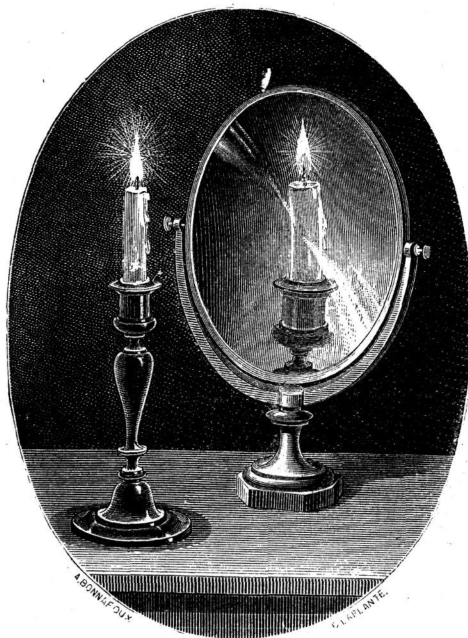


Sl. 103. Ugnuto zrcalo; obrnuta i uvećana slika predmeta.

elna“ slika svijetle točke; ta slika postoji u uzduhu pa se u zgodnoj rasvjeti može u njem i vidjeti; poradi toga ju i mogosmo uhvatiti na zastoru.

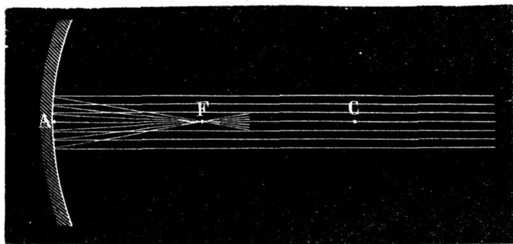
Toga već nema, čim svijećom podjemo još bliže k zrcalu u daljinu manju od polovine polumjera. Nigdje više nema reelne slike ispred rzcala, no baciš li oko sada u zrcalo, vidjet ćeš, kao i kod ravna zrcala, sliku svijeće iza zrcala: uspravna je i uvećana, ali je sada virtuelna (prividna), kako ti ju pokazuje slika 104. — Sve ćeš ove lijepe pojave slikanja u ugnutom zrcalu moći uz nešto pažnje opaziti u onim malim okruglim, toaletnim zrcalima, što ih gospodje često nose uza se. Krivina je tih zrcala tako izračunana, da se u maloj

daljini od zrcala lišce nadje u slučaju posljednjega pokusa: gospodja vidi svoj obraz više ili manje uvećan. Ako imaš takvo zrcalo, moći ćeš s njim sve ove pokuse već u sobi na pola tamnoj izvesti.



Sl. 104. Ugnuto zrcalo; virtuelna i uevćana slika predmeta.

Ovi na oko čudni i nerazumljivi resultati naših pokusa nisu drugo n e g o n u ž n a p o s l j e d i c a o s n o v n o g a z a k o n a z a o d b i j a n j e s v j e t l o s t i i tko bi htio šestilom u ruci zaista crtati odbijene zrake ugnuta zrcala, lako bi se mogao osvjedočiti, da ovakve slike m o r a j u postati. Nije ovdje mjesto, da se u to iz bližega upuštamo, tek bismo obrazložili ono posebno ime za točku u sredini polumjera. Slika nam 105. pokazuje pramen zraka, koje dolaze na zrcalo u s p o r e d n o s glavnom osovinom zrcala AFC. U točki C je središte kugle, kojoj zrcalo pripada. Ovako dolaze na zrcalo zrake svjetlosti iz svijetle točke, koja je smještena negdje na osovini neizmjerno daleko od zrcala, ili bar tako daleko, da se može uzeti za neizmjerno daleku točku. To na pr. vrijedi za svjetlost, koja dolazi od Sunca (od Zemlje je daleko 149 milijuna kilometara) i od zvijezda. I geometrijska crtnja na osnovi zakona odbijanja i pokus sa Suncem složno pokazuju, da sve odbijene zrake sijeku osovinu u jednoj te istoj točki F, koja je baš u sredini izmedju središta



Sl. 105. Glavno žarište ugnuta zrcala.

kugle C i vrha zrcala A, dakle u sredini polumjera AC. Njihovo sastajanje u F daje reelnu sliku točke, koju će oko tamo vidjeti, jer iz nje izlazi pramen zraka, koji se razilazi i dolazi u naše oko, baš kao da ondje stoji zaista svijetla točka, iz koje izbija onaj pramen zraka. Ako usporedne zrake dolaze od Sunca, bit će u F mala sličica



Sl. 106. Pupčasto zrcalo; virtuelna upravna slika, manja od predmeta.

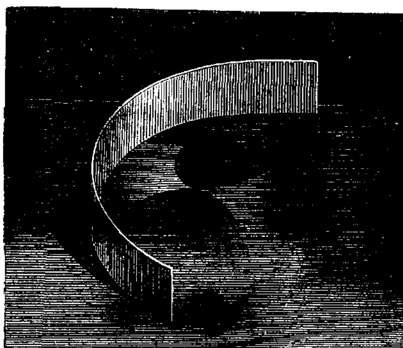
Sunca tako vruća, da će se goriva tjelesa lako zapaliti i otud točki F ime „glavno zarište" ugnuta zrcala.

U pupčastim su zrcalima slike predmeta svagda virtuelne, dakle iza zrcala, jer se odbite zrake svagda razilaze, uspravne su, ali i manje od predmeta; to možemo najlakše potvrditi na šarenim staklenim kuglama, koje se u vrtovima upotrebljavaju za ures (sl. 106.).

Ne mora svagda biti, da se sve zrake, koje izlaze iz jedne svijetle točke, nakon odbijanja opet sastanu u jednoj točki. Baš je

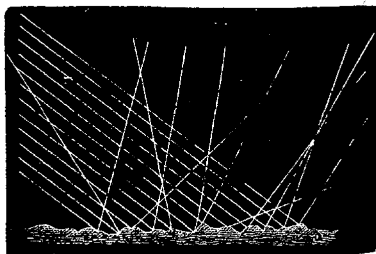
obrnuto u većini slučajeva. To se već pokazuje kod ugnutih sferičnih zrcala, ako su velika, a osobito kod zrcala valjkastih. Po dvije se susjedne zrake nakon odbijanja sijeku doduše u jednoj točki, no bližnje dvije opet u drugoj točki, a posljedak je, da u takome zrcalu svijetla točka za sliku svoju ne daje jednu točku, nego čitavu svijetlu crtu, tako zvanu žarišnicu ili „katakaustiku." To lijepo potvrdjuje pokus s lampom i valjkastim zrcalom (sl. 107.), ako iz lampe izlazi razrok plamen zrakâ: jasno se vidi svijetla crta katakaustika. Na svakoj sjajnoj posudi od kovine, pače i na sudju od brušena stakla, ili finoga porculana vidjet ćete u zgodnoj rasvjeti ovake katakaustike.

Pojam je naime „zrcala" u nauci nešto širi, nego u svakidanjem govoru, koji pri tom misli na zrcala, što su u sobama, a služe samo za toaletu ljudima. U nauku o svjetlosti (optici) svaka je glatka ploha zrcalo, jer odbija svjetlost pravilno. Nisu dakle zrcala samo brušene staklene ploče, obložene otraga živim srebrom, ili pak fino brušena srebrna zrcala mladih Rimljanki, nego je i površina mirne vode zrcalo, svaka glatka staklena ploča na prozoru već je zrcalo, a isto tako i glatka ploha porculana i politirana drvena ploha. I u njima ćeš često vidjeti slike predmeta, kao i u pravim zrcalima, samo ne će biti te slike tako jake i oštre. Što su dakle biljezi zrcala? U materijalnom smislu gladčina plohe bez obzira na njezinu tvar, a u optičkome smislu pravilno odbijanje svjetlosti. Posljedica je, da mi savršeno glatka tijela ne bismo ni vidjeli. Mi bismo vidjeli više ili manje preinačene slike svijetlih predmeta oko njega, ali njega samoga ne bismo vidjeli. Pa da su na pr. sva tjelesa oko nas tako savršeno glatka, oko bi naše vidjelo samo neograničenu množinu slika svijetlih tjelesa (izvora svjetlosti) na pr. Sunca, ali drugo ne bi ništa vidjelo: svijet bi imao posvema novo lice za nas!


Sl. 107. Katakaustika od odbijanja svjetlosti.

Sasma su drukčiji pojavi, ako uzmemo tijelo hrapave površine (sl. 108.), na pr. komad sukna. Ako svjetlost na nj pada s kojega

izvora, odbija se doduše i sada svaka zraka po istom osnovnom zakonu odbijanja, no kako su okomice (normale) tijela već kod sasma bliskih mjesta njegove površine sasma različnoga smjera, ne odbija se svjetlost u jednom odredjenom smjeru, kao kod zrcalâ, nego se raspe na sve strane. I hrapava tjelesa odbijaju dakle svjetlost, ali je ne odbijaju pravilno, nego je bacaju na sve strane prostora, odbijaju je nepravilno, ili, kako bi nauka rekla, „difuzno.“ U takim tjelesima ne vidiš nikakvih slika predmeta. Tako „rasipanje“ ili taku „difuziju“ svjetlosti pokazuje svako tijelo na zemlji, pa i naša zrcala, jer i najgladčija ploha pokazuje pod mikroskopom, da je hrapava: na njoj vidiš neravna mjesta čas uzdignuta, čas udubena, a to je već povod rasipanju svjetlosti. No kod naših dobro brušenih zrcala nadmašuje pravilno odbita svjetlost daleko difuznu (rasipanu) svjetlost. Ne smijemo ni malo žaliti tu „difuziju“ svjetlosti kod odbijanja od hrapavih površina, jer tek po njoj postaju vidljiva sva ona tjelesa na zemlji, koja sama nisu izvori svjetlosti, tako zvana tamna tjelesa. Taka tjelesa primaju svjetlost od kojega izvora svjetlosti, na pr. danju od Sunca, noću od Mjeseca, ili kojega umjetnoga izvora (svijeće, lampe): mi velimo, da ih izvor svjetlosti „rasvjetljuje.“ A što je to za pravo? Od svakoga bilo kako maloga komadića njegove površine izbijaju odbijene zrake svjetlosti na sve strane; one zrake, koje baš dolaze u naše oko, čine, da ono rasvijetljeno mjesto tijela vidimo. Pa kako god se namjestiš u tom prostoru, svagdje će biti nepravilno odbitih zraka, koje će baš ulaziti u oko: ti vidiš baš poradi nepravilna odbijanja tijelo sa svih strana. Sada razumijemo, zašto kod naših pokusa s heliostatom ili lampom vidjesmo u uzduhu sobe i put udarne i put odbijene zrake; jednu i drugu vidjesmo samo poradi „difuzije“ svjetlosti. U uzduhu lebde svagda milijarde drobnica prašine, na kojima se svjetlost difuzno odbija, pa tako dodje i u naše oko. Mi vidjesmo kod naših pokusa sliku pukotine na stropu tamne sobe. Zašto? Od svakoga komadića rasvijetljena stropa izlaze zrake svjetlosti odbite od njega, na sve strane, a neke od njih ulaze i u naše oko. Mi



Sl. 108. Nepravilno odbijanje svjetlosti.

vidimo napokon i na samom zrcalu slabu sliku uske pukotine. Kad bi zrcalo svjetlost samo pravilno odbijalo, ne bi od njega nikakva svjetlost dospjela u naše oko, nego bi sva išla u smjeru odbitih zraka. No kako mu je površina ipak nešto hrapava, zrcalo odbija nešto svjetlosti i nepravilno ili difuzno, i to je uzrok, da nešto od te svjetlosti dolazi i u oko, pa mi vidimo i zrcalo i slabašnu sliku pukotine na njem.

I tako nam se evo znanje o vidjenju svijeta oko nas veoma bitno raširilo, — a sve na osnovi pokusâ s tankim pramenom svjetlosti!

Da u opće vidimo sva tjelesa, koja ne svijetle svojom vlastitom svjetlošću, tomu je uzrok samo u tome, što ta tjelesa, kad ih rasvjetljuje kaki izvor svjetlosti, difuzno odbijaju svjetlost, koja na njih pada.

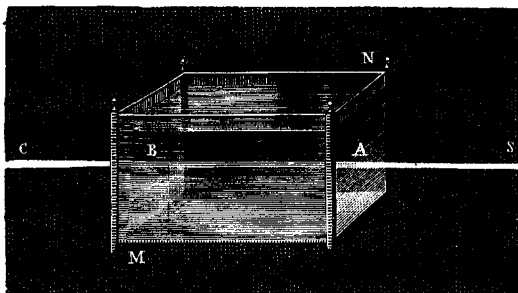
Ako se utrne izvor svjetlosti, koji ovaka tamna tjelesa „rasvjetljuje", onda se od njih ne odbija nikakva svjetlost, mi ih ni ne vidimo.

3.

Lomljenje svjetlosti. S principom rasprostiranja svjetlosti i zakonom za odbijanje svjetlosti iscrpli smo sve, što je stari svijet zaista znao o svjetlosti. No i poslije toga prošlo je više nego tisuću godina, da se čovjekovo znanje o svjetlosti nije naprijed maknulo ma ni za jedan korak: tisuću je godina izgubljeno u istraživanju ovoga krasnoga područja prirode! A zašto? upitat će se u čudu čitalac. Kako to, da su naučnjaci srednjega vijeka tako malo marili za ove gotovo najljepše pojave u prirodi? Uzrok je u smjeru njihova mišljenja. Oni su nastojali, da bi zakone čitavoga svemira izveli spekulacijom, t. j. iz njihova vlastita umovanja, ili su pak razmatranjima o drugom svijetu bili toliko zaokupljeni, da su najvećim prijezirom gledali sve stvari ovoga svijeta. Tako na pr. veli Laktancij (u 4. stoljeću poslije Krsta učitelj sinu Konstantina Velikoga): „Pitati za uzrok stvarima; pitati, je li Sunce zaista tako veliko, kako nam se čini; je li Mjesec ugnut, ili pupčast, jesu li zvijezde na nebu prikovane, ili slobodno lebde u uzduhu; kakova je oblika i od kake je tvari nebo, da li miruje, ili se giba; kolika je Zemlja; na kojem temelju lebdi, ili visi; — o takim se pitanjima prepirati i mišljenja iznositi baš je tako, kao da hoćemo o tome raspravljati, što mislimo o gradu u daleku kraju, kojemu smo tek za ime čuli."

Nema li i danas inteligentna svijeta u nas Hrvata, koji ovako govori?

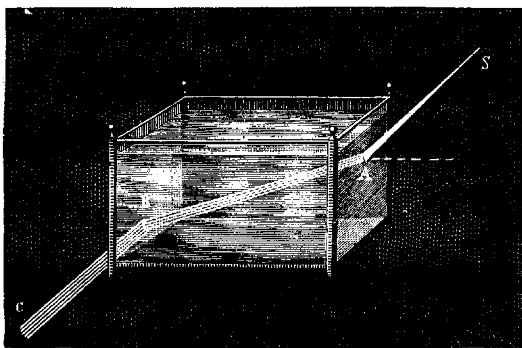
No u opće su danas ipak drukčija vremena, hvala Bogu! Mi danas prirodu pitamo, a ona nam sâma odgovara; istina je, ti su nam odgovori danas još dosta često nerazumljivi, no mi nastojimo svojski, da joj govor shvatimo. A naše nastojanje nije bilo uzalud!



Sl. 109. Lomljenje svjetlosti.

Svatko zna, kako je ovaj način pitanja prirode preobrazio sve mišljenje kulturnoga svijeta i kaki su izumi plod toga pitanja.

I mi ovaj čas pitamo dalje naš tanki pramen svjetlosti iz heliostata ili lampe: je li odbijanje svjetlosti jedini učinak tjelesa na svjetlost? Tek g. 1621. otkrio je Willebrod Snell (1591—1626., matematik i fizik holandeski) nov — treći princip o svjetlosti, koji je

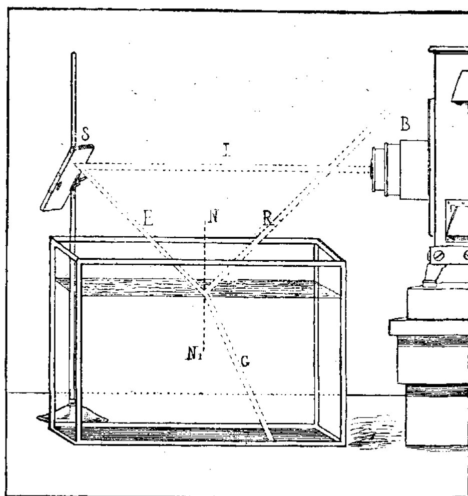


Sl. 110. Lomljenje svjetlosti.

na ovo pitanje dao pouzdan odgovor. Tko ne zna iz svakidanjega svoga iskustva, da ima „prozračnih" tjelesa, koja svjetlosti ne odbijaju, nego je puštaju u se, pače je i propuštaju? Što će nam kazivati naš tanki pramen svjetlosti, kad ga pustimo na takvo tijelo

na pr. na vodu, ili staklo? Pitajmo ga! Eno u slici četverouglast sud pun vode (sl. 109.), a iz naše lampe ide (u tamnoj sobi) pramen svjetlosti baš okomito na jednu stijenu suda: pramen, koji ide kroz uzduh smjerom *SA*, ulazi u vodu i ne skreće ni najmanje s puta, nego ide istim smjerom *AB* u vodi, koji je produžen smjer *SA*, pa izlazi opet istim smjerom *BC*. Sve tri crte *AS*, *AB* i *CB* čine jedan te isti pravac!

Nema toga više, ako pramen *SA* koso dolazi na stijenu suda (Sl. 110.). Pramen svjetlosti na ulazu u vodu skreće s puta, pa ide u vodi koso smjerom *AB*, a kad izlazi iz nje, skreće ponovno s puta i ide u uzduhu dalje smjerom *BC*. Smjerovi *SA* i *CB* su usporedni. Ovo skretanje s puta, što ga pokazuje pramen svjetlosti, kad prelazi koso iz jednoga prozračnoga sredstva (uzduha) u drugo, i obrnuto, (vodu) zvat ćemo kratko „lomljenje svjetlosti". Svjetlost dakle, o tome nema sumnje, ulazi u prozračna tjelesa i pri tom pokazuje nov pojav „lomljenje." Uočimo ga iz bližega, kako bismo ušli u trag zakonu, po kojem se ravna! — Pred nama je opet sud pun vode (Sl. 111.). Da se put zrakâ u njoj bolje vidi, rastopi se u njoj nešto fluorescina. Tanak pramen svjetlosti izlazi iz lampe *B* (ili heliostata). Kako bi pramen mogao pod različnim kutovima padati na vodu, namjestim iza kadice ravno zrcalo *S*, koje se može okretati. Pramen *L* iz lampe *B* ide najprije na zrcalo *S*, pak se od njega odbija na vodu. Pramen *E*, koji eno pada na vodu, najprije se djelomice odbija od vode i mi vidimo u uzduhu tamne sobe slabu odbijenu zraku *R*; no ujedno vidimo zelenu zraku *C* u vodi, pak s mjesta opažamo, da pramen u vodi ima drugi smjer, nego pramen *E*, koji udara o vodu: čini ti se zaista, kao da se pramen *E* na ulazu u vodu „slomio." Pojavi dakle lom-



Sl. 111. Zakon lomljenja svjetlosti.

ljenja i odbijanja svjetlosti ne isključuje jedan drugoga, nego idu, kako se vidi, usporedo; isti se pramen svjetlosti i odbija i lomi. Okomica ili normala vodene površine je *NN*. Ako zrcalo *S* okrećem, mogu učiniti, da udarna zraka *E* s tom okomicom čini različne kute. Vidjet ću pri tome svagda, da i slomljena zraka



Sl. 112. Descartes.

C mijenja svoj smjer, ali se ipak vidi i to, da se lomljenje na površini vode pokazuje, dokle god zraka *E* koso pada na vodu. Toj činjenici tražimo zgodan izraz riječima! Vidimo: kut, što ga čini slomljena zraka *C* s okomicom (normalom) na vodenoj površini *NN*, svagda je drukčiji, nego kut, što ga čini udarna zraka *E* s tom istom okomicom. Da budemo nešto

kraći u izražavanju naših misli, reći ćemo za kut izmedju E i N, da je to „kut upadanja“, a za kut izmedju G i N_1, da je to „kut lomljenja.“ Sada možemo resultat našega pokusa ovako reći: Kut je lomljenja svagda drukčiji, nego kut upadanja. Samo ako pramen svjetlosti okomito pada na površinu vode, ide svjetlost neslomljena u vodu; u tom slučaju nije samo kut upadanja jednak nuli, već i kut lomljenja.

Zanimljivo bi sada bilo znati odnošaj izmedju ta dva kutova, jer vidjesmo, kad se mijenja jedan, mijenja se i drugi.

No taj se odnošaj ne da tako lako naći, kao kod odbijanja svjetlosti, a ne da se ni riječima reći, ako se ne može uzeti kao poznata veličina, što je matematika zove „sinus kuta.“ To je jamačno i uzrok, da je tek g. 1621. Snell otkrio svezu tih dvaju kutova, a neodvisno od njega još jedan put god. 1637. francuski matematik i filozof Descartes (sl. 112.) [1596—1650.]. Ta je sveza za male kute upadanja i lomljenja u tome, da je omjer obaju kutova svagda jednak, dok se svjetlost lomi u istoj tvari. Kad bismo na pr. na našoj vodenoj kadici u predjašnjem pokusu namjestili spravu za točno mjerenje obaju kutova, našli bismo evo ovu tablicu:

Kut upadanja *(EN)*:	0^0	1^0	2^0	3^0	4^0	5^0
Kut lomljenja *(GN)*:	0^0	$^3/_4{}^0$	$1^1/_2{}^0$	$2^1/_4{}^0$	3^0	$3^3/_4{}^0$

Iz tih brojeva izlazi, da je omjer:

$$\frac{\text{Kut upadanja}}{\text{Kut lomljenja}} = {}^4/_3$$

i to za sve kutove tablice, jer je:

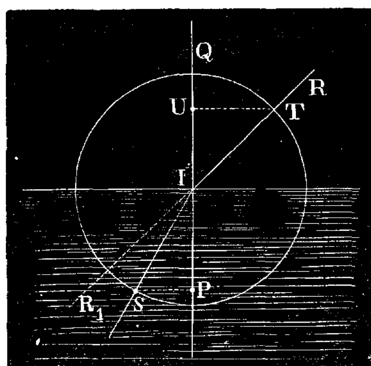
$$\frac{1}{^3/_4} = \frac{2}{1^1/_2} = \frac{3}{2^1/_4} = \frac{4}{3} = \frac{5}{3^3/_1} = \frac{4}{3}$$

Broj $^4/_3$ vrijedi, kako vidimo, ako se svjetlost lomi u vodu; da smo je puštali u petrolej, staklo, ili dijamant, našli bismo bili drugi broj, koji bi nam izražavao omjer izmedju kuta upadanja i kuta lomljenja. Tomu broju dajemo ime kvocijent lomljenja ili takodjer „indeks lomljenja“, te tvari spram uzduha. Prema tomu bismo na pr. rekli: kvocijent lomljenja je kod vode $^4/_3$; kod običnoga su stakla našli broj $^3/_2$, za sumporni vodik $^5/_3$, za dijamant gotovo $^5/_2$. Dijamant ima dakle veoma velik kvocijent lomljenja ($^5/_2$ je gotovo dva puta tolik broj kao $^4/_3$!); što danas znamo, ima dijamant od svih tjelesa u opće najveći kvocijent lomljenja.

Ako su kutovi upadanja i lomljenja veći (a obično i jesu mnogo veći), nije više omjer samih kutova svagda jednak, nego omjer drugih dviju veličina, koje pripadaju tim kutima. Zakon Snellov stoji na ime u tom: U slici 113. neka pada zraka svjetlosti *RTI* na vodu; ona se na prijelazu u vodu lomi kod *I* i ide u vodu smjerom *IS*, a da se ne lomi (t. j. da ne skreće s puta), išla bi smjerom IR_1. Oko točke *I* prebačen je krug, koji siječe jednu i drugu zraku u *T* i *S*. Ako s kraja *T* zrake *TI*, koja pada na vodu, i s kraja *S* slomljene zrake spustimo okomice *TU* i *SP* na normalu vode *QP*, pak im izmjerimo dužine, naći ćemo svagda, ako je svjetlost lomi u vodu:

$$\frac{\text{okomica UT}}{\text{okomicu SP}} = {}^4/_3$$

Snell je prvi ispipao ovu tajnu prirode kod svjetlosti, kojoj dajemo ime: „Snellov osnovni zakon lomljenja."



Sl. 113. Snellov zakon.

Izmjeriš li pak sâme kutove upadanja (kut *RIQ*) i lomljenja (kut *PIS*) kutomjerom, to njihov omjer ne će biti točno jednak $^4/_3$, jer su već preveliki.

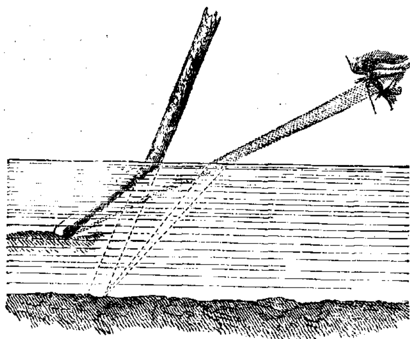
Snellov zakon za lomljenje treći je važni princip svjetlosti, važan poradi toga, što su u njem ujedinjeni svi pojavi svjetlosti, i najzamršeniji, koji se tiču ulaženja svjetlosti iz jednoga tijela u drugo, iz jednoga sredstva u drugo. Nešto slično nadjosmo već i kod drugoga osnovnoga principa svjetlosti: svi i najzamršeniji se pojavi kod odbijanja svjetlosti pokazaše pred našim duševnim okom kao nužne posljedice onoga tako divno jednostavnoga zakona za odbijanje svjetlosti. No izmedju pojava lomljenja i pojava odbijanja ipak je jedna važna razlika, koju smo rad već sada istaknuti. Za odbijanje je svjetlosti bilo svejedno, od kake je tvari tijelo, koje odbija svjetlost; izmedju kovina, stakla, vode itd. nema s obzirom na odbijanje svjetlosti nikakve razlike. Kod lomljenja već nije tako: tvar tijela odredjuje, kolik je indeks lomljenja: on je kod vode broj $^4/_3$, kod stakla $^3/_2$, kod dijamanta $^5/_2$ itd.

U opće se dakle pojav lomljenja kod svih prozračnih tjelesa zbiva nejednako, prema tvari se tijela pokazuju male razlike u veličini lomljenja.

* * *

Treći princip svjetlosti raskrio je pred duševnim okom čovjeka svu silu pojava do tada nerazumljivih i donio je čovjeku izuma gotovo neizmjerno velike važnosti. Ne će biti s gorega, ako po tom polju nešto pabirčimo!

Tko ne zna, da se batina čini slomljena, kad se utakne u vodu, i da se dno vode čini svagda više, nego što je zaista, da je nešto uzdignuto. Zašto to? Zakon lomljenja posvema razjašnjuje jedno i drugo, a svatko će to razumjeti, kad baci oko na sliku 114. Oko, koje traži donji kraj batine, utaknute u vodu, vidi taj kraj samo po pramenu svjetlosti, koji od njega dolazi na površinu vode; no taj se pramen na prijelazu iz vode u uzduh lomi to jače, što kosije dodje na površinu i poradi toga ulazi u oko u drugom smjeru. Oko pak traži kraj batine ondje, gdje se sastaju te razroke zrake i njemu se prikazuje pojav baš tako, kao da iz te točke izlazi pramen svjetlosti, oko zaista vidi kraj batine u toj točki, a ne na pravome mjestu; vidi se i to, da se s istoga razloga čini i dno nešto uzdignuto.

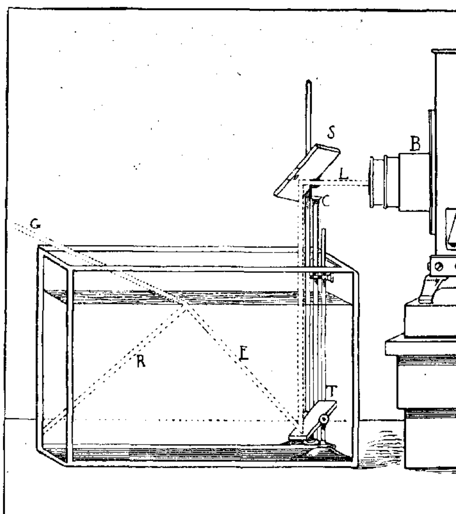


Sl. 114. Slomljen štap.

Kad god pramen svjetlosti prelazi iz uzduha u vodu, vidjesmo, da na granici obiju sredstava postaje i odbijena i slomljena zraka (isp. sliku 111). Koliko se svjetlosti odbija, a koliko ulazi u prozračno tijelo, to zavisi o kutu upadanja i o tvari, od koje je tijelo. Kad pramen okomito pada na vodu, odbija ona samo 18 zraka od njih 1000, staklo ih pak odbija već 25 od 1000, a živo srebro čak 666 od 1000! Pada li svjetlost koso na prozračno tijelo, uvećava se svagda odbijanje. Na pr. pada li pramen na vodu pod kutom od 40 stupanja, odbija voda već 22 zrake od njih 1000, kod kuta upadanja od 60°, njih 65 od 1000, kod kuta od 80° njih 333, a kod kuta od $89^1/_2$°, kada dakle svjetlost ide gotovo uzduž

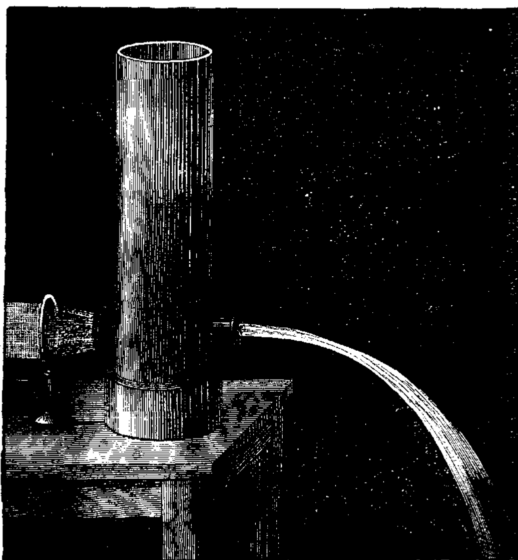
površine vode, odbija 721 zraku od njih 1000. No makar kolik bio kut upadanja, svagda se jedan dio pramena kod prijelaza iz uzduha u vodu lomi, nikada se sva svjetlost ne odbija od vode.

Nije tako, ako svjetlost ide obrnuto, t. j. iz vode u uzduh. Tu se u zgodnim prilikama pokazuje vanredno zanimljiv pojav, koji ćemo ovdje spomenuti, jer je dosta važan. Povratimo se k našoj lampi i kadici s vodom (sl. 115.). Pramen svjetlosti *L*, koji izlazi iz lampe *B*, udara najprije o zrcalo *L*, od njega se odbija baš okomito na vodu i poradi toga ulazi u nju neslomljen. U vodi je drugo zrcalo *T*, a od njega ide sada pramen svjetlosti *E* pod vodom i udara koso na površinu vode u kadici. Što vidimo? Pramen se svjetlosti *E* na granici razdvaja: odbijena se zraka *R* vraća u vodu, a slomljena *G* izlazi još iz vode. No zraka *G* ide u uzduhu još kosije nego u vodi. Vidimo dakle isti pojav, kao i prije kod prijelaza svjetlosti iz uzduha u vodu: jedan se dio svjetlosti odbija natrag u vodu po zakonu odbijanja (to je zraka *R*), a drugi se dio lomi u uzduh (to je zraka *G*) sasma točno po Snellovu zakonu lomljenja. No ako sada zrcalo *T* po malo okrećem, tako da zraka *E* sve kosije ide u vodi, dolazit će zraka *G* sve bliže površini vode i napokon će kod nekoga položaja zrcala *T* zrake *G* sasvim nestati. Sada se sva svjetlost, koja dolazi na granicu vode, odbija natrag u vodu; najednoč vidiš, kako odbijena zraka *R* postane jako svijetla, a ništa se više svjetlosti ne lomi. Tomu pojavu dajemo ime „potpuno odbijanje svjetlosti“ ili po običaju nauke „totalna refleksija svjetlosti“. On se javlja samo onda, kada svjetlost prelazi iz sredstva, koje svjetlost jače lomi, u sredstvo, koje ga slabije lomi, dakle kod prijelaza iz vode u uzduh



Sl. 115. Totalna refleksija.

ili iz stakla u uzduh, a i tu tek onda, kad pramen dosta koso udara o granicu obiju sredstava. Nauka bi nešto drukčije rekla: „pojav se totalne refleksije javlja samo kod prelaženja svjetlosti iz optički gušćega sredstva u optički rjedje sredstvo". Voda i staklo su na pr. spram uzduha optički gušće tvari, no alkohol je optički gušći od vode, premda je alkohol lakši od vode. U opće, što je veći indeks lomljenja koje tvari, to se lakše javi pojav totalne refleksije, i to je na pr. uzrok, što brušen dijamant onako krasnu vatru baca. Svjetlost, koja je u dijamant dospjela, ostaje poradi to-



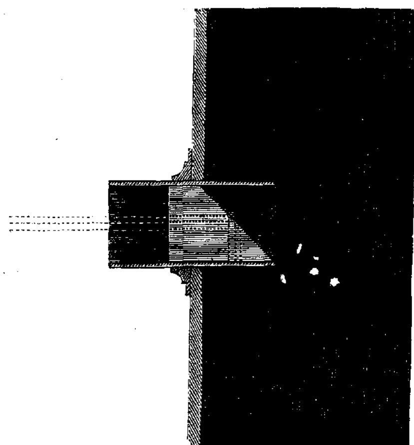
Sl. 116. Fontaine lumineuse.

talne refleksije od brušenih ploha od veće česti u njem i tim ga tako sjajno rasvjetljuje, da se na daleko blista u veliku sjaju.

Lijepa je primjena ovoga zanimljivoga pojava u novije vrijeme tako zvana „fontaine lumineuse" (svijetao vodoskok), koji razjašnjujemo ovim pokusom. Iz naše lampe ulazi pramen svjetlosti u valjak pun vode. Voda može da istječe kroz rupicu na donjoj strani valjka (Sl. 116.) u obliku parabole. Zrake padaju veoma koso na granicu vode u mlazu, koji ističe, pa se potpuno odbijaju natrag u vodu i to se ponovno zbiva u mlazu; čitav je mlaz vode sjajno rasvijetljen, pak se čini kao vatren pram. Ulazi li pramen svjetlosti

u valjak kroz ploče različne boje, možeš toj „fontaine lumineuse“ dati veoma različno lice.

I u pustinjama se često vide, kad na pr. Sunce žestoko ugrije veliku pješčanu ravnicu, obrnute slike predmeta, baš kao da gledaš na površinu mirna jezera, pak se u njem slika sva obala. Vrsta se uzduha baš iznad pijeska tako jako ugrije, da postane rjedja od hladnije vrste uzduha iznad nje; zrake svjetlosti, koje dolaze od predmeta u toj gušćoj vrsti uzduha, padaju gdjekada tako koso na granicu gušće vrste, da i ne udju u rjedju vrstu, nego se totalno odbiju natrag gore u gušću vrstu; ako baš dodju u oko, vidi ono granicu obiju vrsta jako rasvijetljenu, kao pučinu mirna jezera, a u njoj postaju slike, nalik na slike u vodi. Ovake su varave slike žednim vojnicima Napoleonove vojske u Egiptu zadavale prave Tantalove muke.



Sl. 117. Prizma za totalnu refleksiju.

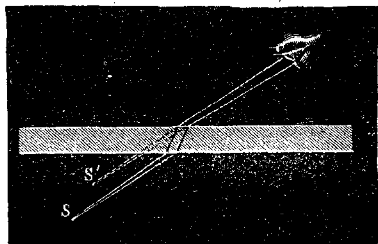
Ako u oveću rupu kamere obskure (slika 117.) utakneš staklen pravokutan bridnjak, naći ćeš za čudo, da sva izvanja svjetlost, što kroz bridnjak ulazi u kameru, nju ostavlja posvema tamnu. Uzrok je opet totalno odbijanje. Zrake se na kosoj plohi stakla potpuno odbijaju od nje i ni jedna ne ulazi u kameru, i ako je staklo sasvim prozračno tijelo. Takav bridnjak fizičari često upotrebljavaju, ako hoće da pramen svjetlosti svrnu s njegova puta za 90 stupanja („bridnjak za totalnu refleksiju“).

Puštajmo sada pramen svjetlosti u različna prozračna tjelesa odredjenih jednostavnih oblika, pak se pitajmo, kake će nam pojave dati naša najnovija tekovina: Snellov zakon lomljenja.

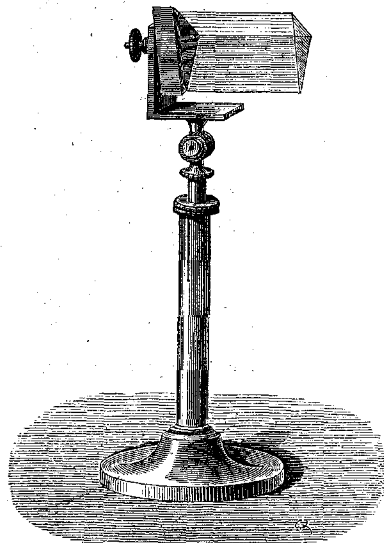
Uzmimo najprije debelu staklenu pločicu, kojoj su suprotne strane usporedne (slika 118.). Pramen se svjetlosti iz svijetle točke S lomi na prijelazu u staklo prvi put, a na prijelazu iz stakla natrag u uzduh po drugi put: posljedak je, da izlazi iz ploče istim smjerom, kojim je ušao u staklo, jer ulazeći u staklo, lomi se na jednu stranu, a izlazeći iz njega isto toliko na suprotnu; mi vidimo

kroz taku ploču sve predmete doduše u istom smjeru, ali nešto malo pomaknute na stranu.

Prozračne ploče često ovako pomiču predmete nešto na stranu; to pokazuju već naše obične ploče na prozorima, a još bolje stakleni prozori na vagonima željeznica, koji su obično načinjeni od loša materijala. Kad kroz nje gledaš na pr. šinje, vidjet ćeš ih kojekako ugnute, pa da ne znaš, da je to tek uzrok optičan, bilo bi te gotovo strah voziti se po tim šinjama.



Sl. 118. Lomljenje u staklenoj ploči.

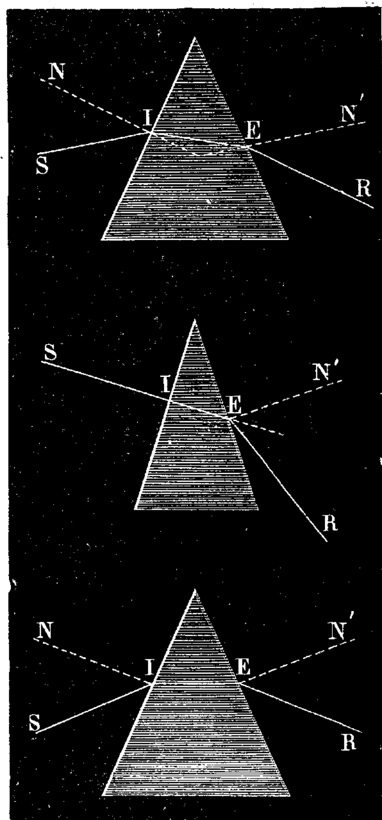


Sl. 119. Bridnjak ili prizma.

Uzmimo sada stakleno tijelo, kojemu suprotne strane nisu uporedne, nego se sastaju u kut (sl. 119.), dakle tijelo, koje se zove „bridnjak ili prizma“. Učinak je njegov na pramen svjetlosti taj, da svjetlost, lomeći se po Snellovu zakonu dva puta, jako skreće sa svoga puta na stranu bridnjakove osnovke. Slika 120. to pokazuje na prvi mah. Zraka *SI* ulazi u bridnjak (prizmu), na ulazu se lomi prvi put, u njem prijedje put *IE*, na prijelazu se u uzduh lomi po drugi put i izlazi iz bridnjaka u sasvim drugom smjeru *ER*, ali svagda se otklonila na stranu osnovke bridnjaka. Ako te zrake slučajno ulaze u oko (sl. 121.), tražit će oko i vidjeti predmet ondje, gdje se te zrake sastaju, a to je u našem slučaju na mnogo višem mjestu. Slika će svijeće osim toga na rubu biti bojadisana, no to nas ovaj čas dalje ne zanima.

Daleko je najvažnija primjena Snellova zakona svakako konstrukcija „leća“. Ako iz komada stakla izrežeš ploču, pa joj obje strane tako izbrusiš, da imaju točno oblik površine dviju kuglî, dobio si ono, što fiizičari zovu „leća“ — ime uzeto od poznata

ploda poradi sličnosti oblika. Razlikujemo „pupčaste“ ili „konveksne“ leće (sl. 122.), koje su u sredini deblje nego na kraju, i „ugnute“ ili „konkavne“ leće (sl. 123.), koje su u sredini tanje nego na kraju. Jedna strana može da bude i ravna, no druga mora da bude svakako dio kugline površine. Bitnu ćeš razliku izmedju obje vrste s mjesta opaziti, ako pustiš iz svijetle točke pramen svjetlosti na jednu i drugu vrstu. Učinimo to najprije kod pupčaste (konveksne) leće! (Sl. 124.) Iz točke *S* na osovini njezinoj izlazi pramen svjetlosti i zrake padaju na prozračnu staklenu leću. Na ulazu se u staklo i na izlazu iz njega zrake lome, a posljedak je, da se zrake, koje su na leću pošle iz točke *S* na osovini, opet stječu nakon dvokratnoga lomljenja u točki osovine *S'*: ova leća ima dakle to osobito svojstvo, da u neku ruku sabire zrake svjetlosti, i otuda joj ime „leća sabirača“. Baš ćeš obrnuti pojav naći kod ugnute ili konkavne leće. Ako na pr. sunčane zrake na nju (sl. 125.) padaju usporedno s osovinom, razilaze se one nakon dvokratnoga lomljenja u ovoj leći: ova leća dakle zrake u neku ruku rastresuje i otuda ugnutim lećama ime „leća rastresača.“

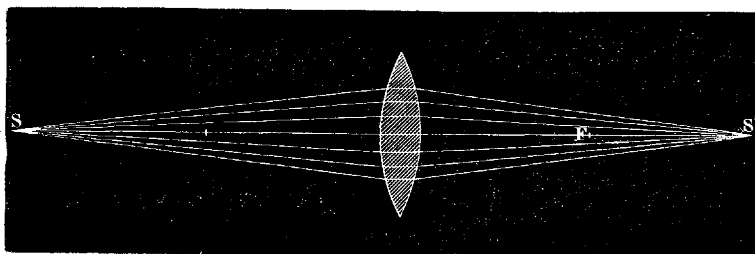


Sl. 120. Lomljenje svjetlosti u prizmi.

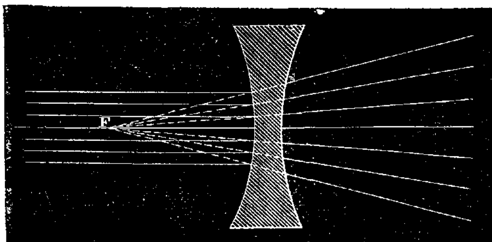
Svojstvo leće sabirače, da može zrake svjetlosti, koje izlaze iz jedne točke, opet sastaviti u jednoj točki, neprocjenjive je vrijednosti za čovjeka, jer su na njem osnovane ponajvažnije sprave njegove, koje su mu očinji vid izvanredno izoštrile.

Očito je naime, da ću ondje, gdje se zrake nakon lomljenja sastaju, dobiti reelnu sliku svake svijetle točke, koju mogu na za-

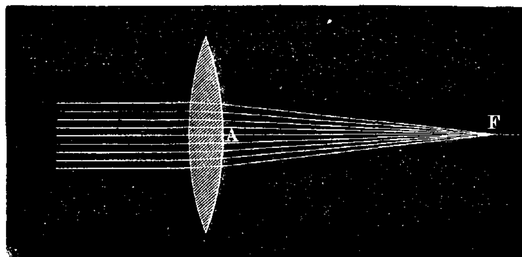
storu od papira i uhvatiti. Kako je svako svijetlo ili barem rasvijetljeno tijelo sastavljeno od samih svijetlih točaka, dat će nam pupčasta leća reelne slike svijetlih ili rasvijetljenih predmeta, kakovih već vidjesmo kod ugnuta zrcala. Jednostavan pokus nam



Sl. 124. Put zrakâ u pupčastoj leći.



Sl. 125. Put zrakâ u ugnutoj leći.

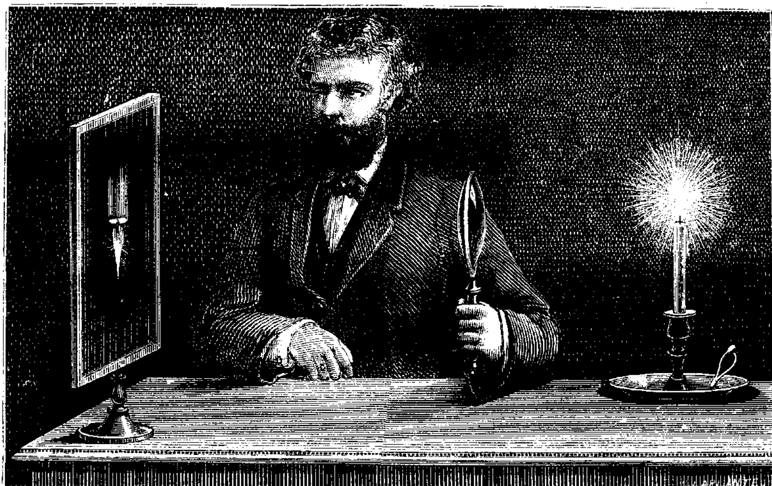


Sl. 126. Žarište pupčaste leće.

to potvrdjuje (sl. 126.). Pustimo najprije iz heliostata ili lampe usporedan pramen zraka na nju. Prije lomljenja paralelne zrake sastaju se nakon lomljenja u jednoj točki *F*, koja je od nje daleko na pr. 25 cm. Toj točki dadoše ime „žarište leće“ (focus), a daljini 25 centimetara ime „žarišna daljina“ (fokalna daljina) leće. Žarište je dakle ona točka, u kojoj se usporedne zrake svjetlosti nakon lomljenja sastaju. Što je jača krivina ploha na leći, to je žarište bliže leći, to je manja dakle njezina žarišna daljina. Leće se i vrstaju po svojoj žarišnoj daljini: govori se o lećama sa 5, 10, 25, 50 centimetara žarišne daljine. Ime „žarište“ uzeto je i ovdje od sunčane svjetlosti.

Zrake sunčane svjetlosti zaista padaju na leću usporedno, pa kako s njima dolazi i toplina, zapalit će se lako tjelesa, ako se namjeste u žarištu *F*, gdje se pokazuje vanredno svijetla sličica Sunca.

Ako je pak u žarištu *F* svijetla točka, pa iz nje izbijaju na sve strane zrake svjetlosti, jasno je svakomu, da će ove zrake nakon lomljenja iz leće izići usporedne. Poradi toga mogosmo kod naše električne lampe (isp. str. 160.) svaki pramen svjetlosti pretvoriti u pramen usporednih zraka: ne trebaš drugo učiniti, nego pramenu u put postaviti konveksnu leću, tako da je izvor svjetlosti baš u njezinu žarištu.

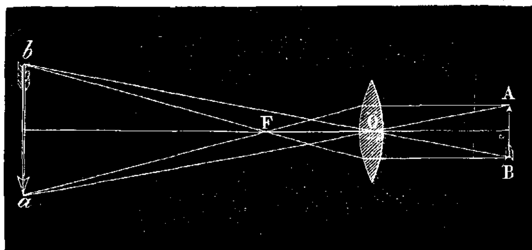


Sl. 127. Reelna slika u leći, obrnuta i uvećana.

Izvedimo s takvom lećom od 25 centimetara još jedan pokus! Namjestimo u tamnoj sobi svijeću (Sl. 127.) 40 centimetara daleko od leće. Slomljene zrake crtaju svoj put u prašini sobe, pa ako pomičeš papirnat zastor, naći ćeš lako mjesto, gdje ćeš na zastoru dobiti veoma oštru, reelnu i obrnutu sliku svijeće. Slika je uvećana i od leće daleko 67 centimetara.

Kako je na osnovi Snellova zakona ta slika postala, razabrat će svatko po konstrukciji slike 128. *AB* je predmet (strjelica); *Q* je središte leće, *F* je njezino žarište, a *ab* je obrnuta i uvećana, reelna slika strjelice. Za razjašnjenje ove geometrijske konstrukcije spominjemo, da iz osnovnoga zakona lomljenja izlaze za leće ova dva pravila:

1. Zraka **usporedna s osovinom** lomi se svagda tako, da nakon lomljenja ide kroz žarište leće. 2. Svaka zraka, koja ide kroz središte leće Q, prolazi kroz nju neslomljena. S pomoću tih dvaju pravila može čitatelj i sâm konstruirati sliku svakoga predmeta, ma gdje on bio. Neka ne žali truda, da šestilom i ravnalom izvede nekoliko takih konstrukcija: otkrit će sâm više zakona za slikanje tjelesa s pomoću leća! Mi tek spominjemo još nekoliko pokusa s našom lećom od 25 cm žarišne daljine. Ako je namjestiš 50 cm daleko od svijeće (50 cm = 2 × 25 cm), bit će i slika na drugoj strani leće 50 cm daleko od nje i **jednaka** svijeći. Otidješ li pak s lećom još dalje od svijeće, na pr. 67 cm daleko, naći ćeš zastorom oštru sliku nje-



Sl. 128. Kako postaje slika u leći sabirači.

zinu u daljini od 40 cm, no ta je slika obrnuta i **manja** od svijeće. U opće: za svaku daljinu svijeće od leće naći ćeš točno odredjenu daljinu, u kojoj moraš namjestiti zastor, da dobiješ oštru sliku svijeće.

* * *

Snellov zakon lomljenja svjetlosti još je mnogo važniji princip svjetlosti od predjašnjih dvaju, pa kad bismo htjeli, da čitateljicama našim pokažemo **sve** krasne i važne primjene njegove, morali bismo ispisati čitavu knjigu. Knjiga bi bila veoma zanimljiva, jer bi u punoj svjetlosti pokazala, kako je oštroumni čovjek znao ovu jednostavnu prirodnu istinu upotrebiti, da izumi i do savršenstva dotjera cio niz optičkih instrumenata od jednostavne lupe do najsavršenijega mikroskopa, od jednostavnoga kazališnoga stakla do orijaških astronomskih durbina, od dječije laterne magike do savršena kinematografa. Bila bi to knjiga puna čara za svakoga, tko uživa u **kulturnom** napredovanju čovjekova roda, ali joj ovdje nije mjesto.

Naš nas izlet u carstvo svjetlosti vodi drugim putem!

*

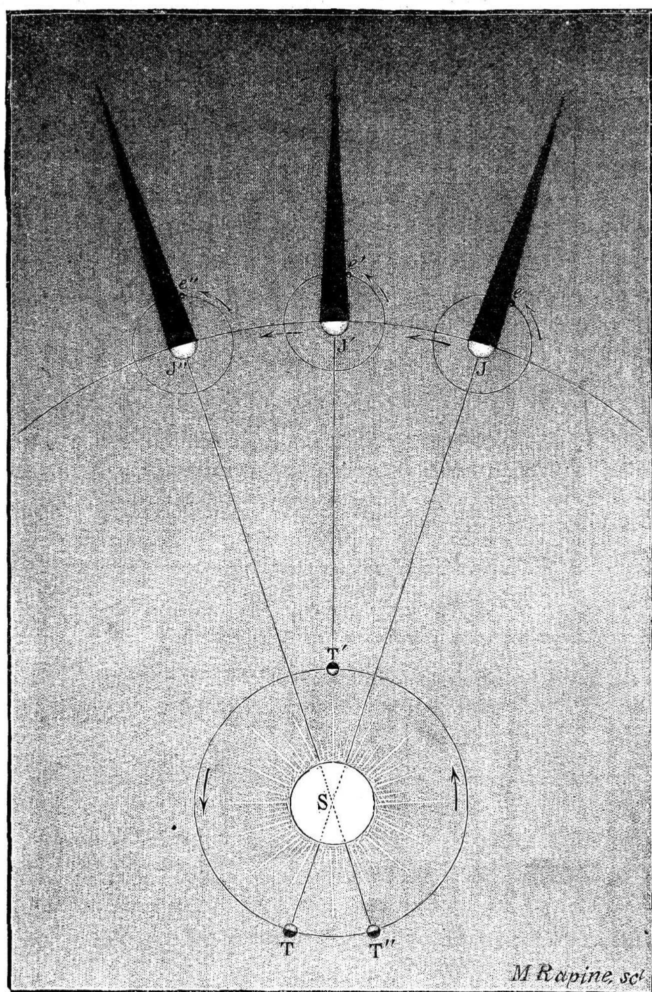
4.

Brzina rasprostiranja svjetlosti. — Evo nas opet u posvema tamnoj sobi. U jednom je zidu zatvoren heliostat ili pak električna lampa. Na suprotnu je duvaru papirnat zastor 6 metara daleko. Otvorim lampu ili heliostat. Izbija jak pramen svjetlosti i na zastoru je eno u tren oka postala slika rupe, iz koje svjetlost izbija. Koliko je vremena trebala svjetlost, da dodje od lampe do zastora? To nas pitanje ovaj čas zanima!

U starom su vijeku svi vjerovali, da svjetlost ne treba ništa vremena, dok dodje od izvora u oko. Pa još je i Descartes mislio, da se svjetlost u istom trenu svagdje nadje. Tek god. 1676. donio je danski astronom Olaf Römer drugo mišljenje o tome, osnovano na dobru temelju.

U Pariskoj je zvjezdarnici motrio pomrčine Jupiterovih Mjeseca. Jupiter, koji je od Sunca daleko (srednja daljina) 773·3 milijuna kilometara, ima u svemu pet Mjeseca. Römer se bavio oko prvoga, Jupiteru najbližega. Gledao ga je sa zemlje T na durbin, kako ide oko Jupitera J (Sl. 129.), kako zalazi u sjenu njegovu, pak se najednoč utrne kao svijeća, kad je ispuhneš; na drugoj bi strani opet najednoč iznikao, kao svijeća, koja se najednoč užge. Mjesec je Jupiterov bio Römeru kao svjetionik, koji se naizmjence užiže i trne, pak je po tom mogao točno odrediti, da svagda prodju 42 sata 28 minuta i 35 sekundi, dok se ponovno užge. To je vrijeme Römer tako točno odredio, da je na pr. mogao unaprijed izračunati, kad će se stoti put javiti iz sjene. Moralo je proći 100 puta po 42 sata 28 minuta i 35 sekundi od časa, kad se prvi put javio. Kad je Römer prvi put zabilježio pojavu Mjeseca, bila je Zemlja na svom godišnjem putu oko Sunca S baš na mjestu T', dakle najbliže Jupiteru, koji je onda bio u J'. Od prilike pô godine kasnije, kad je Römer zajedno sa Zemljom došao na suprotnu stranu njezine staze oko Sunca u točku T'', pokazalo se, da je mali Mjesec zakasnio za punih 15 minuta, kad je trebao, da izadje stoti put iz sjene Jupiterove, koji je sada bio u J''. Römer je ovako umovao: „Da sam mogao ostati na prvoj strani zemaljske staze (u T'), bio bi mi se Mjesec svaki put pokazao u pravi čas; opažač, namješten na onom mjestu, bio bi jamačno vidio Mjesec 15 minuta prije od mene (u T''). Ovo zakašnjenje moram tomu pripisati, da svjetlost treba 15 minuta, dok dodje s mjesta, gdje sam prvi put opažao *(T')* do sadašnjega moga mjesta *(T'')*.“ Za

ovom mišlju, koja je sijevnula u geniju, došla je s mjesta druga: „Ako je ispravno, što mislim, morat će se zakašnjenje sve više umanjivati, kad se budem na drugoj strani Jupiteru sve više približavao,



Sl. 129. Brzina svjetlosti po pomrčanju Jupiterova mjeseca.

pa kad dodjem na svoje prvo mjesto, ne smije da bude nikakva zakašnjenja.“ To mu se zaista i potvrdilo: kad je ponovno nakon pô godine došao na staro mjesto, nije bilo zakašnjenja! Römer je pri-

rodi iznudio novu tajnu: svjetlost treba vremena, da se rasprostire kroz prostor. Još više! Znajući premjer zemaljske staze, mogao je jednostavnim računom izračunati i brzinu, kojom se svjetlost u svemirskom prostoru rasprostire. Izlazi naime:

$$\text{brzina rasprostiranja svjetlosti} = \frac{\text{premjeru zemaljske staze}}{\text{zakašnjenje Mjeseca}}.$$

Römer je našao za tu brzinu užasno velik broj: 309.800 kilometara u svakoj sekundi!

S početka ne vjerovahu niti stručnjaci opažanjima i zaključcima Römerovim. Cassini, Fontenelle i Hooke, sve sami tadanji prvaci nauke, dvojili su o ispravnosti Römerova zaključka. No kad je engleski astronom Bradley (1692.—1762.) nešto kasnije (g. 1728.) sasma drugim astronomijskim putem došao do jednakoga rezultata kao i Römer, prestala je sasvim svaka dvojba.

Svjetlost, što dolazi od Jupiterova Mjeseca, nije ništa drugo, nego sunčana svjetlost, koja se od njega nepravilno odbija na sve strane svemirskoga prostora; Jupiterovi su Mjeseci naime tamna tjelesa, kao i Zemlja i mi ih vidimo samo poradi toga, što nam dobacuju sunčanu svjetlost. Broj Römerov i Bradleyev vrijedi dakle za brzinu rasprostiranja svjetlosti u svemiru. No francuski fizičar Fizeau (čitaj: Fizô; 1819.—1896.) upotrebio je za mjerenje te brzine g. 1849. samo promjer grada Pariza; njegove je pokuse ponovio g. 1873. i g. 1875. fizičar Cornu (čitaj: Korni) i našao je prvi put iz 698 pokusa za brzinu svjetlosti 298500 kilometara, a drugi put iz 504 pokusa 300400 kilometara. Foucault (čitaj: Fúkol; 1819.—1868.) u Parizu, osobit mehanički genij, nije trebao ni da izidje iz svoje sobe, pak je znao odrediti brzinu svjetlosti ne samo u uzduhu, nego takodjer u vodi i u praznom prostoru (od god. 1850.—1862.), pak je našao za brzinu svjetlosti u uzduhu 298000 kilometara u sekundi. Michelson, američki fizičar, popravio je metodu Foucaultovu, pak je g. 1878., g. 1880. i g. 1885. dobio iz više stotina pokusa ova tri broja:

1) 300140 kilom.; 2) 299940 kilom. i 3) 299850 kilometara.

Newcomb, američki astronom, dobio je po preinačenoj Foucaultovoj metodi g. 1885. broj 299860 kilometara. Napokon ju je god. 1900. Perrotin na zvjezdarnici u Nizzi ponovno mjerio i dobio iz 1500 pokusa, izvedenih za godinu dana, broj 299900 kilometara.

Vidi se, kako se noviji brojevi sve više slažu i kolik su trud uložili naučnjaci, da tu brzinu što točnije odrede.

Po svemu možemo danas reći: Svjetlost se u uzduhu rasprostire brzinom od 300.000 kilometara u sekundi.

Sada nam je jasno, zašto su stari mislili da svjetlost ne treba ništa vremena za rasprostiranje u prostoru: za zemaljske je prilike to užasno velika brzina. Ona je 900.000 puta tako velika, kao brzina zvučnih valova u uzduhu! Svjetlost našega Mjeseca treba samo nešto više od jedne sekunde, da dodje u naše oko; sunčana svjetlost treba već $8^1/_4$ minute, a svjetlost najbližih nekretnica treba više godina do nas. Najbliža je nekretnica α Centauri i njezina svjetlost ide do Zemlje 4·3 godina. Najsjajnija je nekretnica na nebu Sirius; njegova svjetlost treba do nas 8·6 godina!

Spomenimo se napokon još i toga, da su Fizeau, Foucault i Michelson mjerili brzinu svjetlosti u **vodi**, isporedjujući je s brzinom u uzduhu. Složno su našli, da se brzina svjetlosti u uzduhu odnosi prama brzini svjetlosti u vodi kao 4 : 3, t. j. brzina je svjetlosti u vodi manja, nego u uzduhu. Ovaj je resultat u nauci igrao veoma veliku ulogu, o kojoj će biti kasnije govor.

Prvi naš put u nepoznato carstvo svjetlosti dovršen je. Kao dobri gospodari još ćemo ga jednoč pregledati i u pameti obnoviti. Što nam je donio? Za stalno smijemo reći, da nije bio bez uspjeha: iznudili smo svjetlosti gdjekoju dragocjenu tajnu i upotrebili smo je u našu korist!

Svjetlost se rasprostire od svoga izvora na sve strane, i ako je sredstvo homogeno, rasprostire se samo u pravcima. Ovaj prvi princip donio nam je već kameru obskuru i rastumačio nam je sjene i pomrčine.

Svjetlost se odbija, kadgod udari o novo kakvo sredstvo. Drugi je princip svjetlosti zakon odbijanja: kut odbijanja jednak je kutu upadanja. Od zrcala, t. j. od glatkih se površina svjetlost odbija pravilno i poradi toga postaju u ravnim i sferičnim zrcalima, što virtualne, što reelne slike svijetlih točaka i čitavih predmeta.

U prozračna tjelesa ulazi svjetlost, ali se kod prijelaza iz jednoga sredstva u drugo lomi, t. j. pramen svjetlosti skreće sa svoga puta. Za taj pojav vrijedi treći princip svjetlosti, Snellov zakon lomljenja. Svu silu pojava svjetlosti po njem razjašnjujemo:

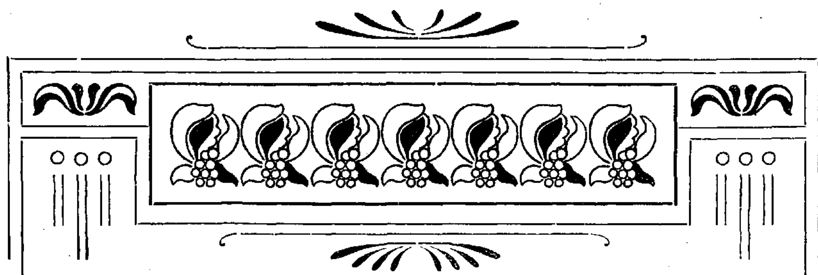
medju njima pojav potpunoga odbijanja (totalne refleksije), onda veliki priklon svjetlosti u staklenu bridnjaku i navlastito postajanje slika u lećama, tim osnovama čitavoga niza najvažnijih sprava.

Svjetlost napokon treba vremena, da prodje kroz prostor: brzina je njegova rasprostiranja u uzduhu 300.000 kilometara u svakoj sekundi. U vodi je brzina rasprostiranja njegovoga manja, nego u uzduhu po omjeru 4:3.

Ne udara li već sada u oči neka sličnost izmedju zvuka i svjetlosti svakomu, koji je nešto pomnjivije pročitao članke o zvuku?

Još se nismo dosta udomili u carstvu svjetlosti, da bismo se usudili raspredati misli o toj sličnosti! Idemo, da još dublje zaronimo u tajne svjetlosti, pak je pitamo, ne bi li nam htjela još nešto o sebi pričati.





VI.

Boje i spektar.

Newtonovi pokusi o rastavljanju bijele svjetlosti. — Spektar bijele sunčane svjetlosti. — Razlaganje ili disperzija bijele svjetlosti. — Jednostavne ili spektralne boje. — Slaganje bijele svjetlosti iz spektralnih boja. — Miješanje boja. — Boje tjelesa. — Komplementarne boje. — Miješanje boja dodavanjem i oduzimanjem. — Bojadisani plamenovi. — Spektri emisije. — Spektralna analiza usjanih tjelesa. — Sunčani spektar i Fraunhoferove crte. — Spektri zvijezdâ.

1.

Bijela svjetlost i boje. Pozivamo čitateljice i čitatelje na izlet u kraj carstva svjetlosti, gdje će se osupnutu njihovu oku pokazati najkrasniji pojavi svjetlosti, pozivamo ih u carstvo boja.

Ulazimo ovdje u krajeve, koje su tek noviji putnici na polju fizike otkrili i opisali, njima na čelu nitko manji, nego Newton (čitaj: Njutn; sl. 130.), osnivač novovjeke astronomije (1633.—1727.). On je otkrio pravu narav bijele sunčane svjetlosti. U zatvorenu kapku sobe izbušio je rupicu i kroz nju pustio okrugao pramen bijele svjetlosti sunčane u tamnu svoju sobu (sl. 131.) Pramen je u prašnom uzduhu sobe jasno crtao svoj put, a na zastoru nasusret vidio je dolje sliku rupice. Na jednom je mjestu sobe pramenu zakrčio put staklenim bridnjakom. Prema Snellovu je zakonu očekivao, da će se pramen lomiti, pak da će i nakon lomljenja na drugome višem mjestu zastora vidjeti okruglu sličicu Sunca, dakako u bijeloj boji. Vele li se začudio, kad je mjesto toga vidio, da mu se okrugla sličica jako rastegnula u sliku, koja je bila pet puta tako dugačka, kako je široka. No osim toga ta rastegnuta slika nije bila više bijela, nego razdijeljena u pruge sasvim različnih boja. Idući

odozdô gore razlikovao je Newton u glavnom sedam boja: crvenu, narančastu, žutu, zelenu, plavu*, modru* i ljubičastu. Boje bijahu vanredno žive i sjajne i oko ti se teško rastaje od njih. A ipak je ta krasna pojava tako prolazna! Metni medju rupicu u prozoru i bridnjak komadić ljepenke na put pramenu, i nestalo je krasne pojave na zastoru u tren oka, ali je opet tamo u punu sjaju, kako ukloniš ljepenku. Uz ovaj je dojam jamačno Newton dao tomu krasnomu pojavu ime „spektar sunčani" (od lat. spectrum = prikaza). No kako se malo bolje zagledaš u spektar, smjesta vidiš, kako je ovaj Newtonov raspored boja tek u glavnom uhvaćena slika neopi-



Sl. 130. Newton.

sivo lijepoga pojava: u spektru su za pravo sve moguće boje i svi prijelazi jedne u drugu tako živo i sjajno prikazane, da se to ni današnjim savršenim sredstvima tehnike ne da umjetno reproducirati.

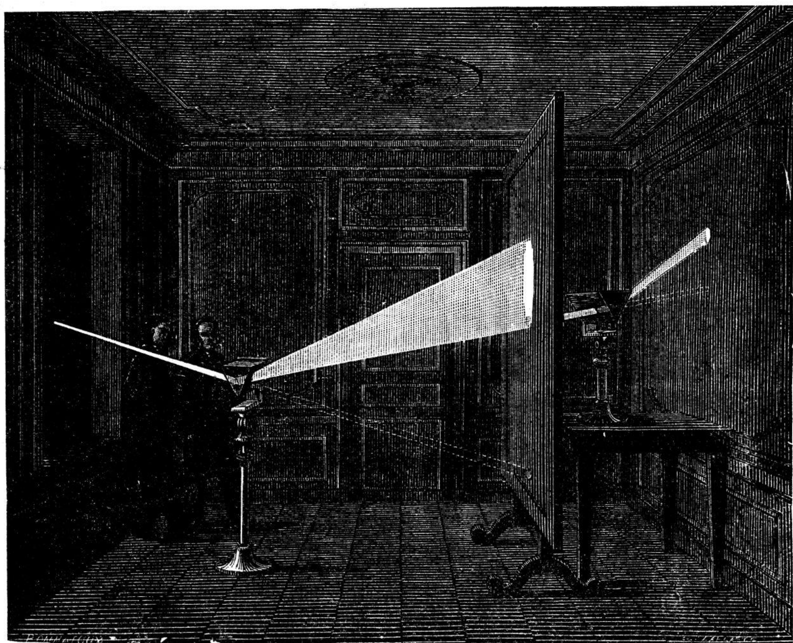
Po položaju boja na zastoru razbiramo smjesta, da se je crveni dio spektra najmanje otklonio od prvoga smjera bijeloga pramena, a ljubičasti najviše, pa poradi toga velimo: crvena se je boja najmanje slomila, a ljubičasta najviše.

Što nam priča priroda u ovoj sjajnoj prikazi, u spektru? Genij Newtonov s mjesta je pravo pročitao to novo pismo, pak je gotovo

[1] Rijsč „plava" ovdje znači francusko bleu ili njemačko „hellblau", a „modro" uzimamo za francusko „indigo" i njemačko „dunkelblau" ili takodjer „indigo".

nerazumljivo, kako je mogao Goethe sto godina kasnije u toj stvari toliko zabluditi. Dvoje može da bude: ili bijela svjetlost sunčana već ima u sebi sve te boje, pak stakleni bridnjak iz te smjese boja samo razluči jednu od druge, ili pak tvar bridnjaka ima svojstvo, da bijeloj svjetlosti tek dade te različne boje.

Prvo je mišljenje Newtonovo, i to je pravo, drugo je Goetheovo, i to je krivo. Newtonu je, kad je gledao spektar, smjesta sinula prava miso: bijela je svjetlost sunčana sastavljena svjetlost



Sl. 131. Sunčani spektar.

smjesa od svjetlosti različnih boja, a nije jednostavna svjetlost, kako su do njega mislili. Prizmu ne zapada nikakva druga zadaća, nego da sve te boje razluči jednu od druge i da ih lijepo razredja jednu kraj druge, kako bismo ih mogli i tjelesnim okom gledati rastavljene. A otkuda našoj prizmi, tomu neznatnomu komadiću stakla, ta velika moć? I to je Newton s mjesta pročitao. Otklon zrake od prvotnoga smjera to je veći, što je veći indeks lomljenja (isp. str. 184.). Iz činjenice, da se u istome staklu crvena svjetlost

najmanje otklanja, a ljubičasta najviše, izlazi dakle, da je indeks lomljenja našega stakla različan broj za različne boje: za crvene je zrake manji nego za žute, za žute manji nego za zelene itd., a za ljubičaste je najveći. Kad je dakle govor o „indeksu lomljenja“ kojega prozračnoga tijela, pitat ćemo od sada odmah, za koju boju vrijedi taj indeks? Tomu svojstvu svakoga prozračnoga tijela, da mu je indeks lomljenja za različne boje različan, dadoše ime „rasipanje“ ili po latinskom „disperzija“.

Sada ćemo razumjeti, od kuda prizmi njezina moć. Sličica rupice dolazi poradi disperzije stakla za različne boje na različna mjesta zastora, pak u spektru vidimo za pravo cio niz slika rupice jednu kraj druge, a svaka slika ima drukčiju boju. Kako je rupica okrugla, jasno je, da će jedna slika rupice drugu donekle pokrivati, pak će se i boje spektra donekle medju sobom miješati: spektar sunčani ne može da bude sasvim oštar i potpuno jasan, dok se upotrebljava okrugla rupica. I zaista, kad su poslije Newtona okruglu rupicu naknadili uskom pukotinom (isp. sl. 89.), onda je tek sinuo sunčani spektar u svom potpunom sjaju: sve mu boje bijahu još punije, jasnije i sjajnije; danas se sunčani spektar svagda izvodi s pomoću uske pukotine.

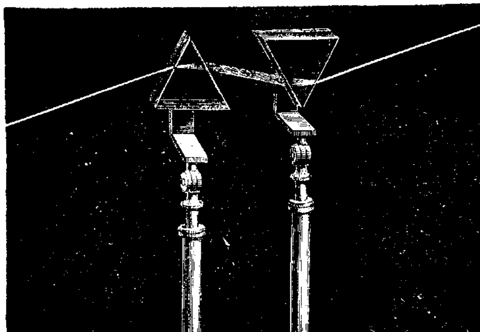
Ovomu rastavljanju bijele svjetlosti u njezine pojedine boje dajemo ime „razlaganje svjetlosti“, a nauka je i na taj pojav prenijela ime „disperzija“ svjetlosti.

Newton je prema tomu bio prvi čovjek, koji je umio bijelu svjetlost razložiti u njezina počela, prvi čovjek, koji je „analizirao“ bijelu svjetlost, a to je bio naučan čin nedogledne upravo važnosti. Pomislite samo: od svemirskih nam tjelesa, dolazi samo jedan vjesnik, a to je njikova svjetlost; ako nam itko može nešto pouzdano kazati o tome, kako je tamo, kazat će nam to samo ispitivanje ili analiza njihove svjetlosti; tek treba da naučimo čitati to pismo svjetlosti njihove, a *A—B—C* toga pisma naučio nas je Newton. Nastojmo, da ga umijemo i bolje čitati!

Newton, izvrstan mislilac i istraživač prirode, nije se mogao zadovoljiti tijem, da mišljenje o bijeloj svjetlosti stečeno jednim pokusom drži s mjesta dokazanim: on je tražio i drugih potvrda svomu mišljenju. Podjimo i mi njegovom stazom! Ako je moje mišljenje, da je bijela svjetlost sastavljena, a pojedine boje da su jednostavne svjetlosti, umovao je dalje Newton, mora mi se pokazati ovaj pojav: izvadim li iz sunčanoga spektra jednu

zraku koje boje, na pr. crvene, zelene itd., pa je pustim na drugu prizmu, ne smije se ta zraka ponovno razložiti u nov spektar, nego se smije samo otkloniti iz svoga smjera, a boja joj mora ostati nepromijenjena. Što odgovara priroda na to pitanje, koje joj je Newton zadao? Pogledajmo ponovno sliku 131. U prvom je zastoru Newton načinio rupicu, kroz koju je crven pramen svjetlosti išao dalje u uzduh iza zastora. Uhvatio ga je drugom prizmom, da se u njoj ponovno lomi, i zaista je na duvaru vidio samo crvenu, ponovno otklonjenu sliku rupice. Izlazi dakle: pojedine se boje spektra ne mogu dalje razlagati, one su *jednostavne* boje.

No Newton je još dalje umovao: ako je bijela svjetlost zaista tek smjesa svih jednostavnih boja spektralnih, mora da postane bijela svjetlost, ako se smiješaju sve boje spektra. Što odgovara na to pitanje priroda?

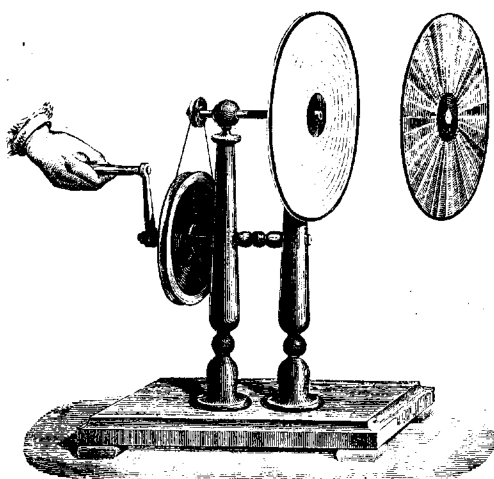


Sl. 132. Slaganje bijele svjetlosti.

Newton je spektar prve prizme uhvatio drugom prizmom od iste vrste stakla i istoga kuta, ali ju je namjestio u obrnutu položaju (sl. 132.). Iz druge prizme izlazi zaista bijela zraka svjetlosti mjesto spektra, a ta se je očito sastavila od spektralnih boja. Samo na gornjem i donjem rubu vidjet ćeš nešto crvene i ljubičaste svjetlosti, jer se skrajnje zrake ne pokrivaju s drugim bojama.

Umjesto druge prizme upotrebio je Newton i leću sabiraču, pa je njom uhvatio sav spektar. Kako svaka leća zrake opet sastavlja u jednoj točki, dobio je na papirnatu zastoru zaista opet bijelu sliku rupice. Ako se pak spektar izvodi uskom pukotinom, dakle u neku ruku svijetlim pravcem, koji se disperzijom bridnjaka raširi u pravokutnik, može se mjesto obične leće upotrebiti tako zvana „cilindrička leća“, t. j. leća, kojoj je kriva ploha, ne dio od kugle, nego od valjka. Ta leća ima svojstvo, da pravokutnik opet stegne u pravac. Pokus s takvom lećom takodjer potvrdjuje zaključak Newtonovi na zastoru se pojavi bijela slika uske pukotine.

Nema dakle sumnje: boje spektra daju zajedno smiješane bijelu svjetlost. No kako je ovo shvaćanje bijele svjetlosti prijeko važno za sve dalje istraživanje u carstvu svjetlosti, nužno je, da ga podupremo još kojom potvrdom. Mi tvrdimo: u bijeloj su svjetlosti sve boje spektra, no mi ih samim našim okom, bez osobitih optičkih pomagala, ne možemo da rastavimo; a to izlazi na isto, kao da rečemo: ako na isto mjesto u našem oku u isto doba padaju sve boje spektra, ne vidi oko tih boja rastavljenih, nego vidi bijelu svjetlost. No kako naše oko ima to osobito svojstvo, da svaki učinak svjetlosti u njem još potraje časak, kad je svjetlosti već nestalo, možemo mi sve boje spektra, umjesto da ih bacimo u isti čas na oko, bacati takodjer veoma brzo jednu za drugom u oko, pak ćemo morati imati osjet bijele svjetlosti. I taj se izvod potvrdio pokusom. Spektar se najprije baci na zgodno gradjeno ravno zrcalo (isporedi sl. 72.), koje se može veoma brzo vrtjeti, a od njega se tek odbije na zastor. Kako vrtiš zrcalo, giba se i odbijeni spektar na zastoru; na mjesto jedne boje dolazi veoma brzo druga, pa treća itd. Posljedak je, da na zastoru vidiš bijelu prugu, čim zrcalo dosta brzo zavrtiš.



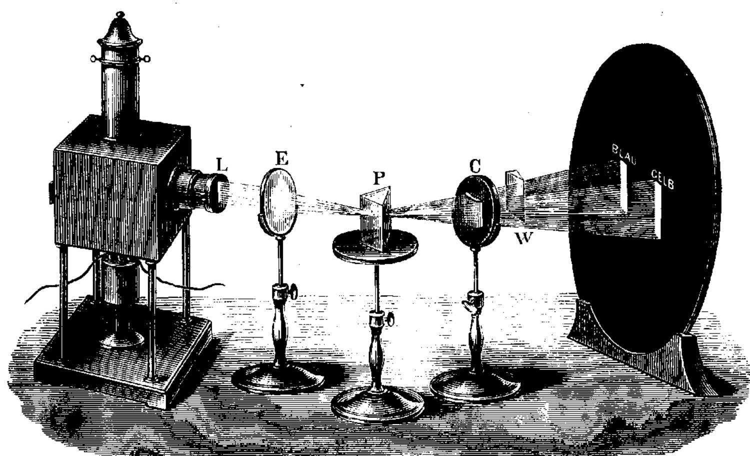
Sl. 133. Slaganje bijele svjetlosti.

Newton je to isto još drukčije dokazao. Na okrugloj je ploči prilijepio bojadisane papire izrezane u kružne isječke (sl. 133.). Boje je papira tako birao, da medju njima budu sve glavnije boje spektra, a veličinu je isječaka načinio prema širini tih boja u sunčanom spektru (u slici je desno ta ploča). Kad je ploču veoma brzo vrtio pomoću posebne sprave, vidio je bijelu ploču, koja je nešto prelazila u sivo, poradi toga, što na njoj ne bijahu čiste boje spektra.

Iz svih tih potvrda izlazi, da je Newtonovo mišljenje pravo, bijela svjetlost Sunca, a i bijela svjetlost ugljena u električnoj lampi, ima u sebi sve boje, ona je smjesa tih boja.

2.

Miješanje boja i boje tjelesa. — Lijepi obret Newtonov povod nam je, da se na čas otisnemo u područje boja, tê najvažnije osnove slikarskoj umjetnosti. Tamna tjelesa na Zemlji obasjava bijela svjetlost sunčana; mi ta tjelesa vidimo tek po tom, što se od njih nepravilno odbijaju sunčane zrake. Zašto nisu sva tjelesa bijela? Otkuda im prerazličie, gdjekada prekrasne boje, koje



Sl. 134. Miješanje boja.

su najveći ukras čitavomu našemu lijepomu svijetu? Priroda sama izlijeva na sva tjelesa pravo „more svjetlosti", obasjavajući ih bijelom svjetlošću sunčanom: sve boje, što ih imamo, baca Sunce na prirodna tjelesa. A ta tjelesa? Kao da biraju iz toga vječnoga i obilnoga vrutka tek nešto te nešto, pak se zaodijevaju u najrazličnije boje, kao da hoće da dadu Zemlji našoj što sjajniju, što ljepšu i što raznoličniju odoru — dok je obasjavaju zrake Sunca. Kako Sunce zadje, nestalo je svega čara: Zemlja se odaje u svojoj pravoj slici, sve je crno, potpuno je tamna kugla! Zaista je čarobno djelovanje sunčanih zraka na tu crnu, neprijatnu kuglu, koju zovemo našom postojbinom, na svaki način vrijedno, da mu iz bližega u oči pogledamo!

Pred nama je opet naša električna lampa (sl. 134.). Iz uske pukotine L izlazi pramen bijele svjetlosti, ide kroz leću sabiraču E i pada na prizmu P. Na drugoj strani izlazi rastavljen u boje spektra, koje se dosta jasno vide na prašini u uzduhu sobe. Spektar ide dalje kroz cilindričku leću, koja sve boje složi u bijelu i na zastoru vidiš samo oštru, pravokutnu, bijelu sliku pukotine. U put zrakama, koje izlaze iz cilindričke leće, metnem malen staklen bridnjak W, ali tako, da on tek jedan dio tih zraka uhvati i na stranu otkloni. Na zastoru se pokažu dvije oštre slike pukotine; jedna potječe od zrakâ, koje su prošle kroz bridnjak, a druga od preostalih zraka. U čudu ćeš vidjeti, da slike imaju različne boje. Prema tomu, kako namjestim malu prizmu u put zrakama, dobit ću različne boje. Ako je u crvenom, bit će druga slika zelena, ako je u narančastom, bit će druga slika modra, ako je u žutkasto zelenom, druga je slika ljubičasta, ako je u zelenom, druga je slika crvena, ako je u modrom, druga je slika narančasta, a ako je napokon u ljubičastom, druga je slika žutkasto zelena. Ovaj je pokus veoma poučan. Mi smo svaki put boje spektra razdijelili u dva dijela i smiješali ih, pak smo tako dobili svaki put po dvije slike različne boje. No kako bismo malu prizmu uklonili, smjesta se obje slike stope u jednu, ali ta je posvema bijela, jer su u njoj sve boje spektra. Dvije boje, koje zajedno izvode osjet bijele svjetlosti, zvat ćemo od sada „komplementarne“ boje (od lat. riječi: complementum = dopunjak). U našem su pokusu dakle obje slike pukotina imale komplementarne boje.

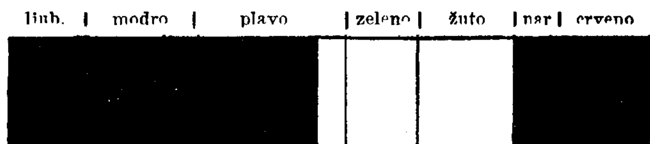
Prema našemu pokusu su dakle parovi komplementarnih boja:

crvena i zelena,
žuta i modra,
žuto-zelena i ljubičasta.

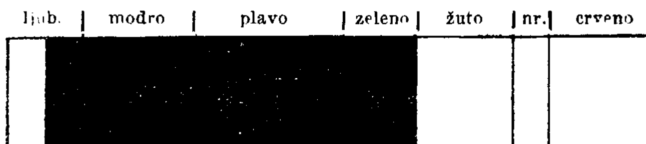
U našoj je slici istaknut najzanimljiviji slučaj: kod zgodna položaja male prizme jedna je boja žuta, a druga modra. Kad se prizma ukloni, smjesa je obiju bijela. To se kosi s našim iskustvom kod miješanja umjetnih boja, a i svi nam umjetnici slikari kažu, da žuto smiješano s modrim ne daje bijelo, nego zeleno. Otkuda to protivurječje? U našem pokusu imali smo posla s bojadisanim svjetlostima, a kod miješanja boja imamo posla s bojadisanim tjelesima. U tom mora da bude i uzrok ovomu protivurječju.

Otkuda dakle boja tjelesima? Što je prije svega „*crno*"? Jednostavan pokus sa sunčanim spektrom smjesta otkriva tajnu. Uzmite crnu vrvcu, pak je provlačite kroz sve boje spektra: crna vrvca *izbriše* sve boje redom. Dakle je „crno" posljedak *uništenja* svih boja spektra! Tijelo je crno, ako uništi, ako upije *sve* boje sunčane svjetlosti.

Istražujmo sada najprije *bojadisana*, ali ujedno *prozračna* tjelesa, na pr. bojadisane *staklene ploče*, ili još bolje bojadisane tanke pločice *želatine*, kake su sada svagdje na prodaju. Kako ćemo ih ispitivati, samo se kazuje. Bijela svjetlost (sunčana, ili električna) pada na pločicu. Što iz nje svjetlosti izadje, bacimo na prizmu, i ta će nam je rastaviti u jednostavne spektralne boje, koje su još u njoj.



Sl. 135. Spektar apsorpcije (zelena pločica).



Sl. 136. Spektar apsorpcije (crvena pločica).

Evo nekoliko resultata tih jednostavnih pokusa. Lampa daje lijep potpun spektar svih boja; pred nju metnem *crvenu* želatinu: lice se spektru sasvim promijenilo! (Sl. 136.) Vidi se crveni, narančasti i žuti dio spektra, ali nema više zelenoga, plavoga, modroga i polovine ljubičaste boje, tek se konac ljubičaste boje opet vidi. Uzmimo *zelenu* želatinu. Lice je spektru opet drukčije. (Sl. 135.) Vidiš žuti, zeleni i komadić plavoga dijela; crvenoga i narančastoga dijela na jednoj strani, a ljubičastoga, modroga i preostaloga komada plavoga nema, na njihovu je mjestu *tama*. Što izvodimo iz toga? Očito samo to, da su naše bojadisane pločice od *svih* boja, koje su u bijeloj svjetlosti, samo *jedan dio* njih propustile, a drugi dio je ostao u njima, pločice su ga upile, ili — kako bi nauka rekla —

„apsorbirale“ su ga (od lat. riječe absorbo gucam, proždirem). Ovo gucanje ili pridržavanje pojedinih boja zvat ćemo i mi odsada „apsorpcija“ svjetlosti, pak ćemo moći kratko reći:

Bojadisana prozračna tjelesa apsorbiraju (gucaju) jedan dio bijele svjetlosti, a propuštaju samo ostatak. Što je dakle za pravo boja svakoga bojadisanoga i ujedno prozračnoga tijela? Očito samo smjesa onih boja spektra, koje je propustilo. Prema tomu možemo crvenu boju naše želatine točnije opisati kao smjesu crvenoga, narančastoga, žutoga i ljubičastoga, a boju zelene želatine kao smjesu žutoga, zelenoga i nešto plavoga. Takvi nepotpuni spektri, u kojima nema svih spektralnih boja, nego je na njihovu mjestu tama, zovu se prema predjašnjem „spektri apsorpcije.“ U slici 137. naslikano je pet takvih spektara apsorpcije; svi potječu od pločica želatine, koje bijahu za oko: crvena (1), žuta (2), zelena (3), modra (4) i ljubičasta (5). Bacimo sada oko na spektar žute (2) i modre (4) želatine, pak će nam se s mjesta po njihovim spektrima apsorpcije bar djelomice razjasniti gore istaknuto protivurječje. Što ćemo dobiti, ako pred našu lampu namjestimo žutu i modru želatinu? Iz žute pločice izlaze samo crvene, narančaste žute i nešto zelenih zraka, i te padaju na modru pločicu. Ta apsorbira od njih crvene, narančaste i žute zrake, a propušta samo zelene. Svjetlost, koja je prošla kroz obje pločice, zelena je, ali poradi apsorpcije zelena. Što se za pravo dogodilo? Iz vrutka svih boja, bijele svjetlosti, oduzete su, odbite su po dva puta neke boje, a ostala je boja nakon ovoga oduzimanja. Pred nama je dakle smjesa boja, koja je u neku ruku postala oduzimanjem ili suptrakcijom. Druga je ploča zrakama, koje su prošle kroz prvu, još oduzela one, koje ona apsorbira, pa je propuštena zelena svjetlost za pravo ostatak (diferencija) bijele svjetlosti manje obje apsorpcije.

I bojadisane tekućine, na pr. rastopina modre galice ili kalijeva hipermangana, pokazuju ovakve boje, dakle i ovakve spektre apsorpcije, kao prozračne pločice želatine ili stakla.

No osim prozračnih bojadisanih tjelesa imamo još veliku množinu bojadisanih tjelesa, koja nisu prozračna, na pr. bojadisani papiri. Otkuda njima boja? Tu nam je nešto opreznije eksperimentirati i zaključivati. Svjetlost, koja pada na ovakvo tijelo, cijepa se u dvoje: jedan se dio odbija odmah od površine tijela, i taj dio ima gotovo svagda istu boju kao svjetlost, koja je na tijelo padala: ako je ta bila bijela, i odbita je svjetlost bijela: na pr. sunčana svjetlost,

koja se odbija od posve crnoga zrcala, opet je bijela; ako sunčana zraka ulazi u tamnu sobu punu najcrnijega dima od kamfina, ipak se vidi put zrake bijel poradi bijele svjetlosti, koja se odbija od čestica crne čadje; Mjesec se svagda vidi na nebu u bijeloj, magičnoj svjetlosti, kao da je umotan u bijel baršun; no poznato je, da on sam nije svijetlo tijelo, on nam samo odbija sunčane zrake, koje na nj padaju sa Sunca, pak da je baš sav umotan u sâm crni baršun, ipak bi lebdio u svemiru kao sjajna bijela kugla i rasvjetljivao bi naše noći istom bijelom svjetlošću kao i sada.

ljub. | modro | plavo | zeleno | nar. | žuto | crveno

1

2

3

4

5

Sl. 137. Spektri absorpcije.

No drugi dio bijele (sunčane) svjetlosti, koji pada na neprozračno tijelo, ulazi ipak do neke, doduše vrlo malene dubljine u tijelo; na tom putu apsorbira neke boje iz bijele svjetlosti, a ostatak se sa dna te tanke vrste odbija natrag i izlazi iz tijela: smjesa tih iz unutrašnjosti tijela nepravilno (difuzno) odbitih boja odredjuje „boju tijela." Možemo dakle na pr. reći, da modar papir od svih zraka svjetlosti, koje su u bijeloj svjetlosti, samo modre difuzno odbija, a sve druge apsorbira. Sada ćemo lako razumjeti, zašto slikarske boje, žuta i modra, smiješane ne daju bijelo, nego zeleno. Slikarske su boje obično prašci, dakle tjelesa razdrobljena u sitne čestice, koje su

uvijek, ma kako ih miješali, medju sobom rastavljene: daljina je jedne čestice od druge doduše veoma malena, no čestice ipak nikada ne čine jednu cjelinu u optičkom i naučnom smislu. Prva je posljedica te njihove gradje, da takva hrpa čestica ne propušta nikakve svjetlosti, pa bile sve pojedine čestice prozračne kao voda. Svaki komad snijega je ledac sasvim prozračan, no svjetlost ne prolazi kroz snijeg; uzmi komadić stakla, prozračno je kao najčišća voda. Razdrobi ga; svaka je drobnica za se opet sasvim prozračna, no prašak je stakleni sasvim neprozračan. I sô će ti to potvrditi: čitava je kocka prozračna kao staklo, stucana je sô sasvim neprozračna. Zašto to? Svjetlost ulazi doduše medju rastavljene drobnice, ali se nebrojeno puta odbija od jedne k drugoj i tim se na skoro sasvim uništi, kao na pr. i zvuk ponovnim jekama: svjetlost se nije uništila apsorpcijom, nego nebrojenim odbijanjem izmedju rastavljenih čestica. Najljepši je primjer tomu oblak. U njem su male drobnice vode izmiješane s česticama uzduha; voda su i uzduh, sami za se, sasvim prozračna tjelesa, propuštaju dakle sasvim bijelu svjetlost, no smjesa je njihova sasvim neprozračna. Kad iz balona gledaš takav oblak, on se sja velikim sjajem u potpunoj bjelini, jer se od njega bijela svjetlost nepromijenjena odbija, ali od Zemlje ispod njega ne vidiš ništa.

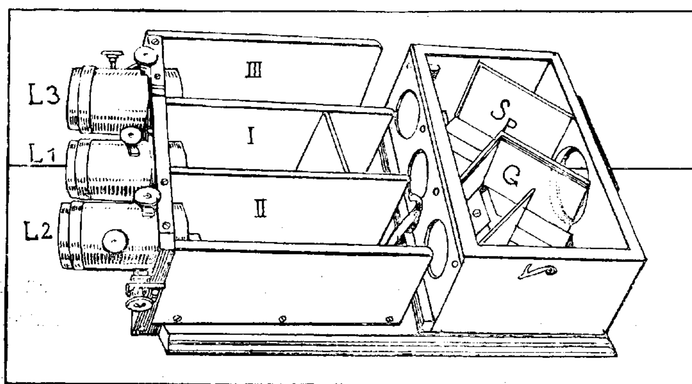
Kod slikarskih su boja pojedine čestice neprozračne. Bijela se sunčana svjetlost medju česticama odbija tamo i amo, kao i prije, no ujedno svaka čestica apsorbira jedan dio te svjetlosti, a odbija tek ostatak. Odbijanje je nužno, da nam svjetlost otpravi u oko, a apsorpcija je nužna, da tijelu dade njegovu osobitu boju. Žute slikarske boje (prašci) odbijaju navlastito žute, zelene i crvene zrake, modre boje pak ljubičaste, modre i zelene zrake. Kad ih smiješaš, ne dodje svjetlost u oko samo s površine praška, nego i iz dubljih vrsta praška, a pri tome modri prašak apsorbira crvene i žute zrake, žuti prašak pak modre i ljubičaste. Nakon ovoga dvojakoga oduzimanja (suptrakcijom) zrakà iz bijele svjetlosti izlazi iz smjese samo zelena boja.

Uzrok je ovomu pojavu dakle za pravo dvojak: boje slikarskih bojadisanih tvari nijesu nikada jednostavne spektralne boje, nego smjese od više spektralnih boja, a miješanje njihovo postaje oduzimanjem (suptrakcijom) bojâ iz bijele svjetlosti, dakle apsorpcijom.

Do pod konac 19. stoljeća bilo je općeno krivo mišljenje, da žuta i modra svjetlost daju zeleno. Tek je Wünsch, a poslije njega Helmholtz upozorio na to, da to nije istina, nego da

te svjetlosti smiješane daju bijelo, a Helmholtz je tek otkrio uzrok, zašto žute i modre boje slikarske daju zeleno: ondje se slažu svjetlosti, ovdje se miješaju bojadisane tvari.

No ako mi ne miješamo bojadisane tvari (praške), nego njihove bojadisane svjetlosti, možemo takodjer slagati po dvije ili više takvih svjetlosti u nove boje, ali sasvim drugim načinom. Nova boja ne će postati oduzimanjem (suptrakcijom) različnih boja iz bijele svjetlosti, nego će sada postati ravno dodavanjem (adicijom) jedne boje drugoj: svjetlosti se obiju boja u neku ruku zbroje, i pred nama je miješanje boja dodavanjem ili adicijom umjesto dosadanjega miješanja oduzimanjem.



Sl. 138. Aparat za miješanje boja.

U novije se vrijeme za ovakvo miješanje boja mnogo upotrebljava aparat za miješanje boja, koji nam i kod fotografovanja u prirodnim bojama dobro služi (sl. 138.). Ormarić je razdijeljen u tri pretinca I, II, III, a ispred svakoga je namještena leća sabirača L_1, L_2, L_3. U srednju komoricu dolazi svjetlost ravno kroz staklenu ploču G iz električne lampe ili heliostata, a u obje se krajnje komorice uvodi ista svjetlost odbijanjem i lomljenjem. Leće L_1, L_2, L_3 tako su namještene, da sva tri pramena svjetlosti padaju na isto mjesto zastora, pak se pokrivaju. No pomoću poluge možeš komorice razmaknuti, pa na zastoru vidiš tri svijetla kruga; srednji je najsvjetliji, jer se njegova svjetlost nije ništa oslabila odbijanjem i lomljenjem. Za sadanje naše pokuse trebamo tek dvije komorice, pak poradi toga srednju pokrijemo crnim zaklopcem. Bijele pak

svjetlosti, koje izlaze iz komorica II i III možemo sada lako bojadisati tim, da ih propustimo kroz spomenute bojadisane pločice od želatine. Utaknimo na pr. u jednu komoru modru, a u drugu žutu želatinu. Na zastoru vidimo modar i žut krug. Ove dvije bojadisane svjetlosti možemo sada, pomaknuvši polugu, pomiješati dodavajući jednu boju drugoj; posljedak je jasna bijela boja, koja tek nešto malo udara u crvenkasto. Umetnem crvenu i zelenu želatinu; posljedak je opet bijelo, koje malo udara u žutkasto. Umetnem žutu i ljubičastu želatinu; posljedak je opet bijelo, koje nešto udara u plavkasto.

Treba istaknuti, da boje pločica nisu jednostavne spektralne boje, nego je svaka od njih već smjesa od više jednostavnih boja. Poradi toga i nisu pločice točno komplementarno bojadisane, pa kod miješanja ne mogu da dadu čistu bjelinu; no pokusi nam otkriše ipak veoma važnu spoznaju, da i sastavljene boje, koje su gotovo komplementarne, daju bijelo, ako ih miješaš dodavanjem jedne k drugoj (adicijom). Iste dvije pločice želatine — žuta i modra — koje su nam prije dale zelenu boju, kad smo jednu položili na drugu i kroz obje poslali pramen bijele svjetlosti, dadoše nam sada bijelu svjetlost! Ali onu istu zelenu boju mogu od njih i sada dobiti, ako obje utaknem u istu komoricu. Vidjet ću na zastoru zelenu svjetlost, jer se boje sada pomiješaše oduzimanjem (suptrakcijom).

Ovaj nam aparat za miješanje boja može izvrsno poslužiti za velik niz pokusa o miješanju svakovrsnih boja i po dvije i po tri njih (ako i u treću komoricu utaknemo bojadisanu želatinu). Studij tih pokusa zanima više slikara-umjetnika, no ipak će biti dobro, ako resultate ovih lijepih pokusa i ovdje pribilježimo.

Zanima nas pitanje: Možemo li miješanjem boja dobiti novih boja, kojih još ne poznajemo? Ima li u opće osim boja spektra još i drugih boja? Pitajmo naš aparat! On će nam dati pouzdane odgovore, ako sastavljamo po dvije pločice želatine, bojadisane u svim mogućim bojama. Naći ćemo na pr. crveno i žuto daje narančasto, crveno i modro daje ljubičasto, zeleno i žuto daje lijepu zelenkasto žutu boju, zeleno i plavo lijepu zelenkasto plavu, zeleno i ljubičasto pak plavo. No to su sve boje, koje imamo i u spektru bijele svjetlosti. Zaista novu boju, koje ne vidimo u spektru, dobit ćemo, ako crvenu smiješamo s ljubičastom. Izlazi veoma lijepa boja, kojoj je ime grimizna boja *(purpur)*. Prema

tomu, kakova je bila crvena i ljubičasta boja, grimizno može da bude svjetlije, ili tamnije: veoma se svijetla grimizna boja zove „roza".

Ako pak u sve tri komorice utaknemo bojadisane pločice želatine, pak sve tri svjetlosti zgodno sastavljamo, moći ćemo dobiti prije svega sve glavne boja spektra i grimiznu, ali i bijelu svjetlost. Na pr. u srednju komoricu utaknemo zgodnu zelenu, a u obje krajnje zgodnu crvenu i modru želatinu. Sastaviš li te tri slike u jednu, izlazi bijela svjetlost adicijom tih triju boja. Sastavljajući ovako po tri boje možeš, bar u glavnom, izvoditi sve boje spektra, pa bijelu boju i purpur. Ako svjetlosti pojedinih komorica nisu jednako jake, posljedak je miješanja opet drukčiji. Na pr. smiješaš li crveno s modrom, izlazi lijepo ljubičasto, no ako plavo sve više slabiš, prelazi ljubičasto po malo u lijep purpur.

Ovako bismo mogli još dugo nastaviti. No to ne ide amo. Nama je dosta znati ovaj glavni rezultat:

Boje svih prozračnih i neprozračnih tjelesa, koja nisu sama izvori svjetlosti, nego se rasvjetljuju iz kojega izvora (na pr. Suncem, ili električnom lampom), dolaze otuda, što ta tjelesa apsorbiraju neke dijelove svjetlosti, koja ih rasvjetljuje. Iz toga izlazi, da će svako bojadisano tijelo biti crno, ako se rasvjetljuje svjetlošću, u kojoj su samo takve zrake, koje to tijelo apsorbira. Na pr. cinober je crven, kad ga rasvijetliš bijelom svjetlošću. No kako bijelu svjetlost pustiš kroz zeleno staklo, tako da na cinober ne dolaze nikakve crvene zrake, on je u istinu posvema crn!

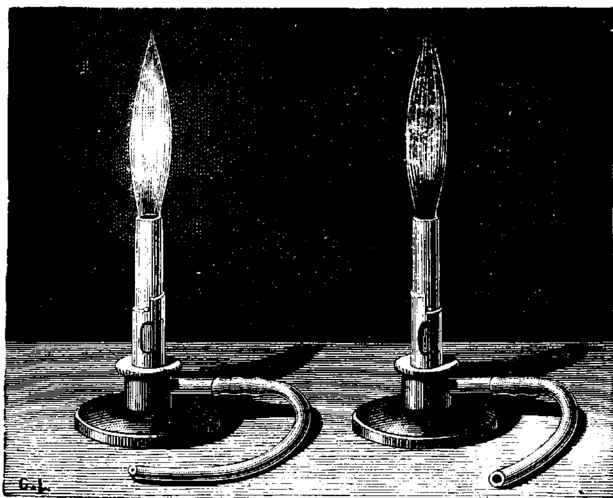
Spomenimo još i to, da se u najnovije doba rezultati ovih studija upotrebljavaju veoma uspješno u „trobojnom štampanju" (Dreifarbendruck) za ilustracije knjiga u prirodnim bojama.

3.

Bojadisani plamenovi i spektralna analiza. — Tko ne pozna bojadisanih plamenova bengaličke vatre, koja u večer tako bajne i čarobne učinke izvodi u čitavoj svojoj okolini? No ne trebaš čekati tek na svečanu zgodu ili predstavu u kazalištu, da se o tome uvjeriš. U tamnoj sobi gori u zdjeli spirit; njegov slabašni plamen gotovo ništa ne rasvjetljuje sobe i sve je u njoj tamno. Baci nešto kuhinjske soli u zdjelu. Plamen je najednoč postao lijepo žut, a jaka žuta svjetlost razlila se po čitavoj sobi. Ali lica ljudi u toj sobi! Kao da nisu isti ljudi, kao da nisu ni ljudi, nego nekakvi dusi.

Pred nama je žuto bojadisan plamen. Otkuda mu boja? Predjašnje naše tumačenje ne pristaje ni malo. Tu ne može biti govora o kakvoj apsorpciji, ta plamen je sâm izvor svjetlosti, iz njega izbija ta bojadisana svjetlost! Evo nove zagonetke u području boja. Pogledajmo joj u oči, kako bismo je riješili i naše znanje o bojama i raširili i usavršili.

Nešto nam smeta plavkasti plamen spirita; naknadjujemo ga zgodno gotovo sasvim bezbojnim plamenom Bunsenova plamenika, u kojem gori rasvjetni plin (sl. 139.). Udešen je tako,



1. Sl. 139. Bunsenov plamenik: 2.
1. svijetao i manje topao plamen; 2. manje svijetao i vruć plamen.

da mi može dati svijetao plamen manje vruć (1) i slabo svijetao, ali jako vruć (2).

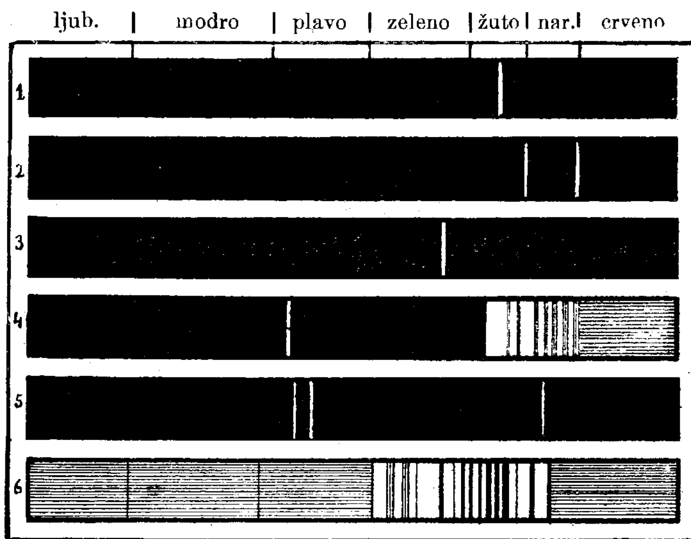
Nekoliko zrnaca soli daje mu čas prije spomenutu jaku žutu boju; druga mu sô — klorlitij — daje crvenu, od treće soli — klorida talija — svijetli zeleno, od četvrte soli cezija svijetli modro. Sve su to bile soli različnih kovina: natrija, litija, talija i cezija.

Pitamo prirodu, neka kaže, kakc je naravi bojadisana svjetlost, koja tako lijepa iz njih izbija?

Spremni smo sasvim, da nadjemo odgovor. Navrnut ćemo svjetlost plamena na staklenu prizmu! Neka se u njoj rastavi u svoja

počela, i spektar na zastoru sve će nam reći, što hoćemo da znamo: mi ćemo bojadisanu svjetlost plamenova „spektralno analizirati". Al eto neprilike: spektar je na zastoru tako slab, da ga ni najbliži u sobi ne vide! Jakost je plamenove svjetlosti očito premalena. No mi znamo najjaču našu umjetnu svjetlost: to je električna svjetlost ugljena. U njoj isparuju s mjesta spomenute soli i daju joj svoju boju. Toliko je jaka, da se spektar bojadisana plamena vidi u čitavoj sobi. Pak što vidimo? (Sl. 140., prva slika).*

Upravo osupnut stojiš pred zastorom: na njem ne vidiš u opće nikakva spektra, nego samo jednu jedinu svijetlu žutu crtu,

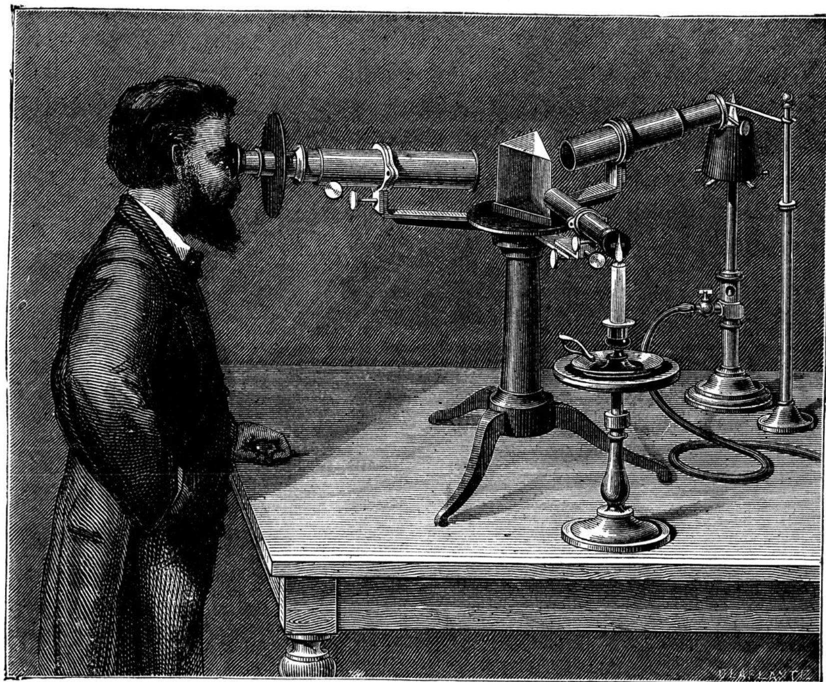


Sl. 140. Spektri različnih tvari.

ako je u plamenu sô natrija (kuhinjska sô). Što to znači? Očito, da iz plamena natrija ne izbijaju sve boje spektra, nego samo svjetlost odredjene, žute boje. Spektar natrijeva plamena sastoji samo od jedne svijetle crte (1), on je dakle sasvim drukčiji, nego spektar bijele svjetlosti. Sô litija daje plamenu crvenu boju, a mjesto čitavoga spektra vidiš na zastoru samo dvije crte: lijepu crvenu i nešto slabiju narančastu (2). Plamen litija izbija dakle samo dvije vrste zraka različne boje. Sô talija daje jednu lijepo zelenu crtu (3). Svjetlost je toga plamena, kao svjetlost na-

* Isporedi na kraju knjige priloženu spektralnu tablu.

trijeva, jednobojna, dok je svjetlost litija dvobojna. Jednobojnoj svjetlosti daju u nauci ime „homogena svjetlost“. Sô cezija nam daje dvije različne modre i jednu narančastu crtu (5). U našoj su slici zabilježena još dva takva spektra. Sô stroncija daje već više svijetlih crta: jednu veoma svijetlu modru, jednu žutu i još cio niz crvenih crta, koje su tik jedna uz drugu (4). Sô barija napokon daje cio niz crvenih, žutih i zelenih crta (6). Vidimo dakle, da su

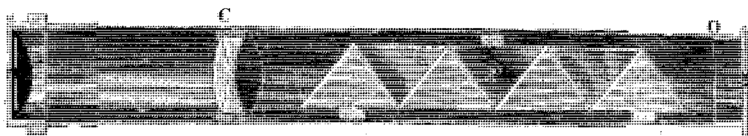


Sl. 141. Spektroskop.

spektri svih tih bojadisanih plamenova sastavljeni tek od jedne ili nekoliko svijetlih crta, a po tome se i zovu „crtani spektri“ ili takodjer „spektri izbijanja“, „spektri emisije“ (od lat. emitto = izašiljem, ispuštam). Ti su spektri u neku ruku baš protivno od spektara apsorpcije, što ih pokazuju bojadisane pločice želatine. Tamo bijaše čitavi spektar bijele svjetlosti isprekidan većim ili manjim brojem tamnih širokih pruga, ovdje niti nema spektra bijele svjetlosti, nego se mjesto njega javlja jedna ili neko-

liko svijetlih crta. Kako boja svih tih plamenova potječe od usjane pare kovinâ, koja se razvija u jakoj vrućini plamena, možemo reći: Usjane pare kovinâ daju crtan spektar.

Metoda, po kojoj ovdje izvedosmo crtane spektre kovinâ, zgodna je doduše, da se oni pokažu čitavoj hrpi slušača i gledalaca, ali za naučno ispitivanje njihovo nije zgodna. Kirchhoff (1824.—1887.) i Bunsen (1811.—1899.), tada profesori u sveučilištu Heidelberškom, opisali su u svojoj klasičnoj radnji „Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren chemischer Elemente“ 1861. do 1863., u kojoj su svijetu priopćili svoj izum spektralne analize, i poseban aparat kud i kamo zgodniji za izučavanje najrazličnijih spektara. Red je, da ovaj aparat, danas jedan od najvažnijih i naj-



Sl. 142. Browningov spektroskop.



Sl. 143. Browningov spektroskop.

poznatijih u svijetu, predočimo i našim čitaocima. „Spektroskop“ ili „spektralni aparat“ zapravo nije drugo, nego spoj prizme s durbinom, kako ga pokazuje slika 141. Plamen Bunsenova plamenika, u kojem se isparuje sô kovine, stoji baš pred pukotinom jedne cijevi (u slici desno), koju zovu „kolimator“. Bojadisane zrake ne idu dakle kroz uzduh, nego kroz tu cijev neoslabljene na prizmu; u njoj se lome, ali spektar opet ne ide kroz uzduh na papirnati zastor, nego s mjesta ulazi u durbin, pa ga opažač vidi u durbinu. Treća cjevčica po strani nosi na kraju skalu, koja se rasvijetljuje svijećom, a njezina se slika odbija od glatke plohe prizme takodjer u durbin, te oko motrioca vidi u isti mah i spektar bojadisana plamena i skalu, pa po tom može točno izmjeriti mjesto svake crte u spektru plamenova. Ovdje doduše ne vide spektra svi gledaoci

u jedan mah. kao kod predjašnje metode, no taj se manjak obilno naknadjuje tijem, što se svjetlost plamena ne slabi i što se mjesta svijetlih crta mogu točno odrediti.

Ovaj aparat u različnim svojim oblicima raširio je čovjeku znanje u posljednjih 50 godina toliko, kao malo koji aparat. Vrijedno je ovdje istaknuti zgodni oblik spektroskopa, što mu ga je dao Browning (čit. Brauning) u Londonu, a pokazuje ga slika 142. i 143. Čitav je spektroskop njegov jedva 10 centimetara dugačak, a mjesto jedne upotrebio je 7 prizmî, kako bi zapriječio otklon zrakâ. Već s ovim malim „žepnim spektroskopom“ možeš danas cio niz studija o spektrima različnih tjelesa izvoditi (aparat se može dobiti za 60 kruna); on na pr. lijepo pokazuje sve crtane spektre usjanih kovinskih para, što ih čas prije opisasmo, i cio niz drugih spektara.

Sa spektroskopom možemo sada redom proći sve zemaljske i nebeske izvore svjetlosti, pak ih ispitivati, što nam poručuju po svojoj svjetlosti. Ostanimo za čas na zemlji!

Ugriješ li koje čvrsto tijelo, na pr. kovinu, vapno, ugljen sve više, počet će se kod temperature od 525° C usijavati: prije tamno tijelo pretvara se u izvor svjetlosti, iz kojega izbijaju zrake svjetlosti. Zanimljivo je tu svjetlost analizovati spetroskopom. Kod 525° vidiš u spektru samo krajnju crvenu boju, kod 1000° C razvio se već i žuti dio spektra, a crveni je ujedno postao jači; kod temperature od 1600° napokon vidi oko tijelo u jakoj bijeloj žari, a u spetroskopu se razviše sve boje spektra od crvene do ljubičaste: jedna se priključuje drugoj bez ikakva prekidanja, jedna se prelijeva u drugu. Dakle možemo reći:

Spektar je usjanih čvrstih tjelesa i usjanih tekućina neprekidan (kontinuiran).

Taki spektar daje na pr. ugljenova svjetlost električne lampe, jer ova baš dolazi od čestica čvrsta ugljena usjanih električnom strujom do najvećega stupnja bjeline. No takav spektar daje i plamen svake svijeće i petrolejske lampe, jer i njihova svjetlost potječe od usjanih čestica čvrsta ugljika; samo se te čestice nijesu toliko usjale kao od struje. I rastaljeno željezo, tekućina, sja bijelim žarom, i spektar mu nije ni u čem različan od spektra usjana čvrsta željeza. Ovake neprekidne spektre nadjoše kod svih čvrstih tjelesa i tekućina, usjanih do najveće žari osim oksida rijetkih kemijskih počela cera, didima i erbija, koji za čudo daju

čudnovato isprekidane spektre, osobito kada su pomiješani s ilovačom, ili s drugim oksidima,

Na osnovi ovih resultata možemo pomoću spektralne analize o fizikalnoj naravi različnih izvora svjetlosti već nešto suditi: Ako izvor svjetlosti daje neprekidan spektar, on je usjano čvrsto tijelo ili pak usjana tekućina; ako pak daje crtan spektar, on je usjana para. U posljednjem slučaju ti pače spektralna analiza još i više pripovijeda o tim parama. Kirchhoff i Bunsen su naime kod mnogobrojnih svojih pokusa mjerenjem utvrdili, da ista usjana para svagda daje na istom mjestu svoje svijetle crte, bila ta para jače, ili slabije usjana, bila joj gustoća veća, ili manja. Ako si dakle samo jedan put sve kovine redom u jakim plamenovima isparivao i pomoću skale spetroskopa odredio mjesta njihovih svijetlih crta, pak ta sva spektra na tablama („spektralne table“) prema mjerenju naslikao, moći ćeš njihovom pomoću smjesta raspoznati, koja para u plamenu gori! Vidiš li na pr. u spetroskopu žutu crtu na izmjerenu mjestu skale, u plamenu bez sumnje gori natrij; vidiš li jednu crvenu i jednu žutu crtu na odredjenim mjestima, prepoznaješ u plamenu smjesta kovinu litij. No na dlanu je sada pitanje: a kaki je spektar, ako je u istom plamenu više usjanih para? I o tom može samo pokus odlučiti!

U naš Bunsenov plamen ispred spektroskopa utaknemo u isti mah sô natrija i sô litija. U spektru se vidi žuta crta natrija i obje crte litija svaka na svom odredjenom mjestu. Smiješaj prije pokusa, što bolje možeš obje soli, pa utakni smjesu obiju soli u plamen. Za oko je plamen žut, jer jaka žuta boja sasvim pokrije slabiju crvenu boju litija. U spektroskopu vidiš opet sve tri crte u isti mah i svaku na svome mjestu!

Nije li to baš sjajna metoda kemijske analize? I zaista je ona u rukama kemičara silna pomoć njegovim istraživanjima navlastito poradi toga, što se njome odaju već najmanje množine kovina. Gotovo ne bismo vjerovali, da nam toga ne kazuju Kirchhoff i Bunsen, kako im je spektroskop najizvjesnije pokazivao žutu crtu natrija, kad je u plamena bila jedva jedna trimilijuntina jednoga miligrama! Dobar spektroskop pokazuje pače gotovo u svakom plamenu natrija. Ako pravo uzmeš mora napokon da bude tako, jer dvije trećine zemaljske površine zaprema more, a njezina sô ishlapljuje djelomice zajedno s vodom, pa je vjetrovi raznose širom čitavoga svijeta.

Još jedan primjer za veliku osjetljivost spektroskopa! Prije godine 1860. znali su doduše kemičari za kovinu litij, no ona je bila veoma rijetka tvar u prirodi — tek neki kuriozum; jedva su znali za 4 rude, u kojima je bilo litija. Danas pak na osnovi spektralne analize znamo, da litija ima gotovo svagdje u prirodi. Trun pepela od cigare, šećera, čaja itd., usjan u plamenu, pokazat će ti u spektroskopu karakteristične crte litija, a Miller je dokazao, da glasovite Clifordske rude daju svaka 24 sata po 400 kilograma litija. Spektroskop je dakle pokazao tvari i ondje, gdje ih tadašnja kemijska analiza nije našla!

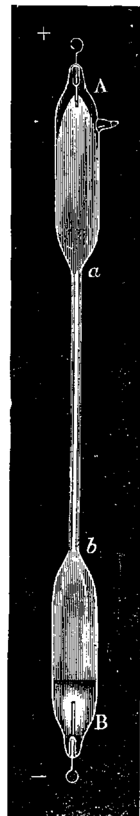
U oči ovih sjajnih pokusa bila je opravdana nada, da će nas spektroskop znatno dalje povesti u poznavanju tvarî, od kojih je sastavljena naša postojbina — Zemlja, ali i tvari, od kojih su sastavljena i daleka svemirska tjelesa, koja svijetle vlastitom svojom svjetlošću i tu svjetlost k nama šalju.

Nada nas nije prevarila! Otkada znamo i upotrebljavamo spektroskop, otkrili su čitav niz novih kemijskih elemenata. Kirchhoff i Bunsen našli su po novim svijetlim crtama, koje ne pripadahu ni jednomu od poznatih kemijskih počela dvije nove kovine: cezij i rubidij. Englez je Crookes (čit. Kruks) poslije našao talij i tako su po novim svijetlim crtama po malo otkrili nove kovine indij, gallij, germanij, skandij i samarij.

Kod ovih sjajnih obreta spektroskopa još nam je časak popostati. Istakosmo doduše, da su mjesta svijetlih crta u spektrima usjanih para nezavisna od temperature i gustoće tih para, no tim ne htjedosmo reći, da se spektar iste pare ne bi mogao nikako i nikada promijeniti. Baš su obrnuto pokazali pokusi: kad se povisuje temperatura pare pokazuju se još nove svijetle crte, a predjašnje crte mijenjahu jakost svoje svjetlosti i razdijele se u dvostruke i trostruke crte. Na pr. kovina barij ima dvije karakteristične crte u zelenom, koje su Kirchhoff i Bunsen označili slovima α i γ: manje se lomi svjetlost crte γ. Kod niske temperature barijeve pare u plamenu vidi se crta γ sasvim jasno, a α se ne vidi; kod visoke je temperature pak crta α svjetlija od crte γ. Kalcij ima na oko dva sasvim različno crtana spektra: u slabijem plamenu Bunsenova plamenika vidiš spektar, koji sastoji od širokih crta u crvenom, žutom i zelenom, s električnom iskrom visoke temperature dobiješ spektar sastavljen od samih finih svijetlih crta. Uklopiš li pak u tečaj električne iskre mokru vrvcu, snizi se znatno njezina

temperatura, a spektar kalcija je isti kao u Bunsenovu plamenu. S osobito velike množine svijetlih crta odličan je spektar usjanih para željeznih: 4500 svijetlih su crta opazili i izmjerili! Po broju i jakosti crta možemo dakle suditi o tom, je li temperatura usjane pare visoka, ili niska. Zaista lijep uspjeh.

No osim kovina imamo na Zemlji još cio niz kemijskih počela, koja su i u običnim prilikama plinovi, na pr. vodik, kisik, dušik itd. Njih ne možeš utaknuti u plamen kao kovine, da bi im ispitivao svjetlost, kad su usjani. Tu nam pomogoše Geisslerove cijevi. (Sl. 144.). Ako u taku cijev zatvoriš na pr. rastanjena vodika, pa kroz nju pošalješ jaku električnu struju, pokazuje se osobita svjetlost, koju možeš opet spektroskopom analizovati. U malo su godina tim načinom otkriti i izmjereni spektri mnogih plinova. Uzmimo, da je u Geisslerovoj cijevi vodik. Jaka će ga struja usjati i u spektroskopu vidiš obično nekoliko svijetlih crta (prema jakosti struja): jednu crvenu, jednu zelenu i dvije modre. No ako je struja slabija, dakle temperatura niža, pokazuje vodik spektar sastavljen od veoma mnogo svijetlih crta. Geisslerove cijevi daju u opće za isti plin svagda isti spektar sastavljen od više ili manje svijetlih crta. Dakle: Usjani plinovi daju takodjer u opće karakteristične crtane spektre, po kojima ćeš ih s mjesta prepoznati, ako su u usjanu stanju.

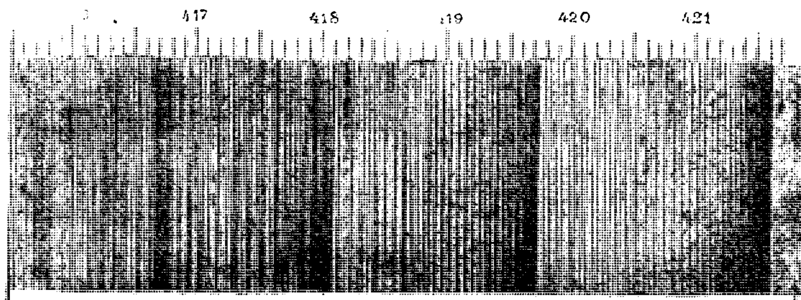


Sl. 144.
Geisslerova cijev.

Lockyer u Londonu, i danas jedan od prvih spektroskopista, ispitivao je spektar vodika u Geisslerovoj cijevi iz bližega, mijenjajući mu gustoću. Veoma rastanjen vodik pokazivao je samo zelenu crtu, i to veoma usku, ali jako svijetlu. Kako je vodik zgušćivao raširivala se zelena crta sve više, a i druge su se redom javljale. Po širini i broju crta možemo dakle donekle suditi i gustoću plina!

Istraživanje plinova s te strane iznijelo je još jedan zanimljivi, resultat: osim neprekidnoga spektra usjanih tjelesa čvrstih i tekućina, pa crtanoga spektra usjanih parâ i plinova, postoji još treća

vrsta spektara: spektri svijetlih pruga. Taki spektar pokazuje na pr. dušik. U takovu se spektru ističu na više mjesta veoma svijetli oštri bridovi, koji su izvedeni izvanredno jakim svijetlim crtama. Njima se priključuje svagda prama ljubičastom kraju cio niz ili serija svijetlih crta sve manje jakosti. Daljine tih svijetlih crta raste s početka brzo, kasnije polakše i napokon su jednake. Iza prvoga oštroga brida dolazi drugi sa svojom serijom slabijih svijetlih crta, pa treći, četvrti itd. Taki nas spektar podsjeća kanelirana stupa. Slika 145. pokazuje pruge ugljikova spektra; vidiš 5 oštrih bridova i serije svijetlih crta, koje im se priključuju po Rungeu. Karakteristično je, da isti plin može dati i spektar svijetlih pruga (kod niske temperature) i spektar svijetlih crta (kod visoke temperature). Kod dušika, sumpora, selena, joda, uspjeli su do danas, da načine od njih i spektar pruga i crtan spektar.



Sl. 145. Spektar svijetlih pruga ugljika.

Spomenimo na koncu još i to, da je spektralna analiza posljednjih godina otkrila nekoliko novih plinova: helij, neon, ksenon i metargon, dok je Ramsay argon u uzduhu otkrio kemijskim metodama.

Položaj crta u spektrima usjanih para i plinova tako je nepromjenljivo i osnovno kemijsko svojstvo tih tjelesa, kao što i njihova atomna težina. Kako se pak mjesta tih crta u spektru mogu baš astronomijskom točnošću odrediti, ne ćemo se više tomu čuditi, što po pojavu svijetlih crta u spektru nedvoumno i apsolutnom sigurnošću možemo zaključiti, da je počelo, kojemu te crte pripadaju, zaista u tom izvoru svjetlosti. Taj je zaključak pače tako siguran, oštar i brz, da ga ni jednom drugom analitičnom metodom tako ne možemo izvesti.

Sto je u oči toga sjajnoga resultata bliže, nego navrnuti svjetlosti svih nebeskih luči, za koje znamo, da su gotovo sve u neizmjernim daljinama od nas, na naš čudotvorni aparat — spektroskop — pa u njem po svjetlosti njihovoj apsolutnom sigurnošću čitati, kakve su tvari usjane u tim lučima?

Koliko nas na to mamila zanimljivost predmeta, mi se ovdje u to ne možemo upustiti. Obret spektralne analize svjetlosti tako je epohalan izum u carstvu boja, toliko je raširio naše pravo znanje o prirodi, da bi zavrijedio posebnu knjigu u seriji poučnih knjiga Matičinih, kako bi i njezini članovi mogli uživati u ovom ponajsjajnijem slavlju ljudskoga uma u devetnaestom vijeku, koji su svijetu dala dva skromna profesora na malom njemačkom sveučilištu u Heidelbergu — Kirchoff i Bunsen.

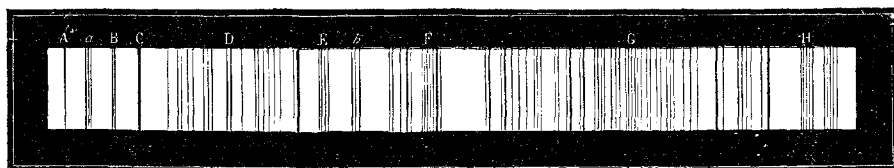
Plodovi su njihova izuma već danas preobilni i na Zemlji i na nebu, a broj njihov raste od dana u dan, navlastito otkada se spektri mogu fotografirati, otkada postoji „spektrografija“.

No odvrnimo misli od ove sjajne slike, a navrnimo ih Suncu, tomu posljednjemu izvoru sve sreće naše, pače života na Zemlji u opće.

4.

Sunčani spektar i Fraunhoferove crte. — Uhvatimo heliostatom pramen sunčanih zraka, pa ga uvedimo kroz usku pukotinu u tamnu sobu na prizmu i raširimo ga u spektar na zastoru. Dok je pukotina široka, vidimo poznat nam neprekidni spektar svih 7 boja. No kako je pukotina dosta uska, javlja nam se nov pojav u sunčanom spektru: preko njega ide ovelik broj što jačih i slabijih, užih i širih crnih, tamnih crta. Što je to? (Isp. tablu na kraju knjige.) Nova zagonetka, koje dugo ne znadoše riješiti. Prije 100 godina (1802.) prvi ih je opazio Englez Wollaston (1766.—1828.), no tek Fraunhofer (1787.—1826.) im je god. 1814. točno odredio mjesto u spektru, pak ih po njem i danas zovu „Fraunhoferove crte“. Najjače je medju njima označio slovima *A* do *H*. Tamna crta *A* veoma je jaka i sasvim je na kraju crvene boje, dakle na početku spektra; crte *B* i nešto jača *C* takodjer su još u crvenoj boji. *D*, veoma jaka i crna crta, u žutom je dijelu spektra, *E* u zelenom, *F* u plavom, *G* u modrom, a veoma jaka crta *H* u ljubičastom. No ako metodu opažanja istančiš, navlastito, ako spektar rastegneš, pukotinu suziš i spektar sunčani ne gledaš prostim okom, nego na durbin spektroskopa, naći ćeš najprije, da su neke crte, koje čas prije

navedosmo kao jednostavne, sada sastavljene od njih dvije i više, jedna sasvim blizu drugoj, a onda, da osim spomenutih glavnih crta spektar Sunca prosijeca još bezbroj finih tamnih crta (Sl. 146.). Fraunhofer sâm, taj najgenijalniji optik 19. stoljeća, koji se bez škola od staklarskoga naučnika i brusara stakla, kasnije rezbarskoga naučnika, dovinuo svojim radovima do člana bavarske akademije nauka i do plemstva, kojemu stoji danas mjeden kip u glavnom gradu Bavarske, nabrojio ih je 580 i mjesta im odredio. Fraunhofer je na pr. već našao, da je tamna crta *D* dvostruka (isp. sliku) i na njegovoj je slici daljina tih dviju crta 0·3 milimetara. Koliko se od onda dotjeralo uvećavanje spektra, neka pokažu ovi podaci. U sunčanom spektru Kirchhoffa i Bunsena daljina je tih dviju crta već 4 milimetra. U fotografiji spektra željeza od Rungea i Kaysera (1888.—1891.) odgovara daljini obiju crta *D* 6 milimetara, a u Rowlandovoj fotografiji (1888.) sunčanoga spektra daljina od 18



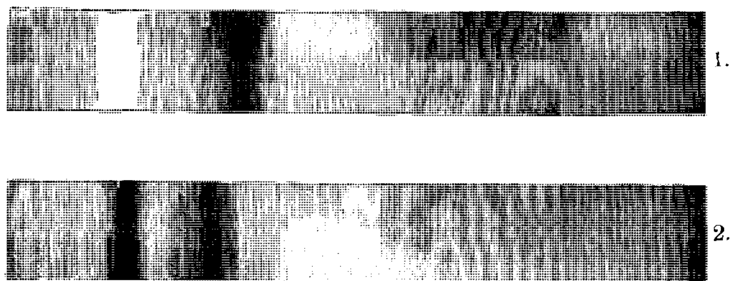
Sl. 146. Spektar Sunca s Fraunhoferovim crtama.

milimetara. U najnovije su vrijeme Müller i Kempf (1899.) u Potsdamu sasvim točno izmjerili mjesta od 4020 Fraunhoferovih crta u sunčanom spektru i njihovo je djelo danas osnova svim naučnim radnjama na tom polju.

Što nam znače te crne crte u sunčanom spektru i gdje im je uzrok? Po dosadanjem našem znanju možemo izvjesno reći tek ovo: crna mjesta u spektru bijele svjetlosti znak su apsorpcije — svjetlosti. To nam pokazaše bojadisane prozračne pločice želatine i stakla, pak i bojadisane tekućine. I tamne crte Fraunhoferove bez sumnje potječu od toga, što su zrake svjetlosti, koje bi morale biti na njihovu mjestu, iz bijele svjetlosti sunčane negdje na putu od Suncu do spektroskopa apsorbirane. Mogli bismo najprije pomisliti, da ih apsorbira uzduh naše atmosfere. Lako se je dokazalo, da to ne može da bude. Danas već točno znamo, da ima u sunčanom spektru zaista crnih crta, koje potječu od apsorpcije u našem uzduhu, ali znamo i to točno, koje su to crte: od najjačih Fraunhoferovih

crta od *A* do *H* niti jedna ne ide medju njih! Što dakle apsorbira tolike zrake sunčane bijele svjetlosti i gdje je to, kad znamo, da je izmedju Sunca i Zemlje prazan prostor?

Priključimo naše ispitivanje poznatim pojavima. Kad smo bijelu svjetlost električne lampe poslali kroz bojadisane pločice želatine, nestalo je iz njezine svjetlosti čitavih boja. I rastopine nekih bojadisanih tjelesa, na pr. krvi, klorofila (sl. 146.), kalijeva hipermanganata biraju iz bijele svjetlosti lampe neke česti, pak ih sasvim apsorbiraju, ostavljajući na njihovu mjestu crne pruge u spektru. Upravo si osupnut, kada na pr. pred sobom vidiš sasvim bezbojnu rastopinu didymovih soli, a metneš li je u put bijeloj svjetlosti lampe, pokazuju se u spektru sasma crne pruge apsorpcije. Osobito mnogo takvih crnih crta pokazuju i neki plinovi, kada kroz njih ide bijela svjetlost lampe, na pr. pare joda i dušikov oksid.



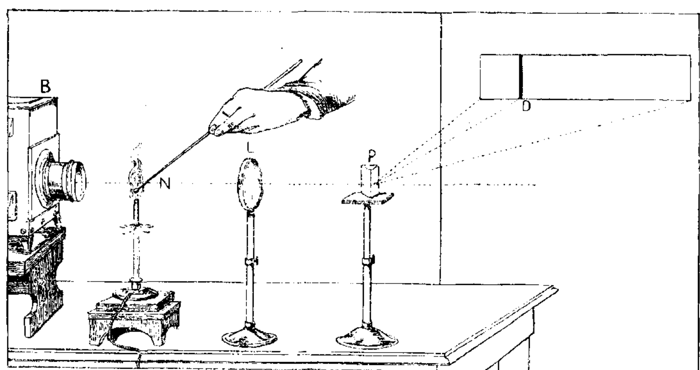
Sl. 147. Spektar apsorpcije crvene boje magenta (1) i krvi (2).

Puštajući bijelu svjetlost lampe kroz različne pare, vidjet ćeš dakle i različne spektre apsorpcije: svaka para apsorbira druge česti bijele svjetlosti i po mjestu, gdje ti se u spektru pojave crne pruge apsorpcije, možeš sada suditi, kroz kakvu je paru prošla bijela svjetlost. Tako je Sorby mogao po gore nacrtanim dvjema crnim prugama krvi raspoznati još jednu dvadesetisućinu $(\frac{1}{20\,000})$ miligrama krvi! On je jednostavno nešto krvi rastopio u vodi i rastopinu metnuo u put bijeloj svjetlosti; pogled u spetroskop pokazao mu je sav spektar bijele svjetlosti, samo na dva se mjesta pokazaše karakteristične crne pruge krvi. Sorby je tako i u starim ljagama od krvi — starim više nego 50 godina mogao dokazati krv, dok se u takim slučajevima kemijske metode pokazaše nemoćne. Bilo je više kriminalnih slučajeva, gdje je Sorby dokazao krv u starijim lja-

gama samo pomoću — spektroskopa. Dakle i o životu i smrti čovjeka može gdjekada da reče odlučnu riječ naš čudotvorni aparat — spektroskop!

Ako se pak krvi primiješalo nešto ugljikova oksida (na pr. udisanjem iz usjana ugljena), promijeni se spektar krvi sasvim: na mjesto onih dviju karakterističnih crnih pruga vidjet ćeš sada u spektru bijele svjetlosti njih mnogo više. Sjetimo li se, da se baš tim plinom, što hotice, što nehotice, svake godine otruje priličan broj ljudi, izbija jasno velika važnost spektroskopa za istraživanje takova otrovanja.

Ovo nekoliko primjera neka bude dosta, da razjasni ovu novu stranu spektralne analize: po crnim crtama u spektru bijele



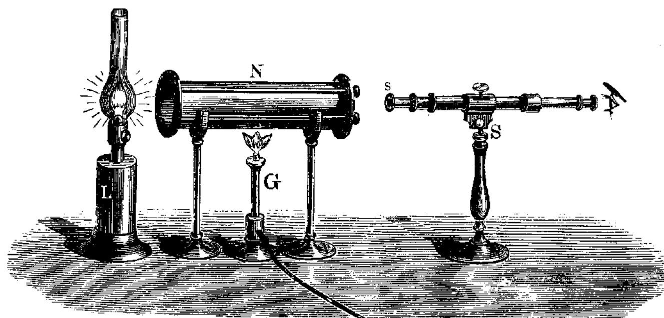
Sl. 148. Kirchhoffov pokus.

svjetlosti možeš prepoznati, kroz kakvu je tvar prošla svjetlost, spektar apsorpcije odaje nam takodjer tvari!

I tako dodjosmo baš na prag najvećemu otkriću Kirchhoffovu na području spektralne analize. Kirchhoff je od prilike ovako umovao: Ako hladne pare i hladni plinovi iz bijele svjetlosti biraju neke zrake svjetlosti, pak ih apsorbiraju, činit će to jamačno i vruće usjane pare.

Što će se dakle pokazati, ako pošaljem bijelu svjetlost električne lampe kroz bojadisane plamenove, na pr. kroz usjanu paru natrija? Opet je Kirchhoff prirodu upitao pokusom, neka ona sama odgovara. Ovaj najglasovitiji pokus Kirchhoffov iznudio je prirodi veoma važnu tajnu. Ponovimo taj pokus! Pred pukotinu elek-

trične lampe *B* (sl. 148.) dolazi Bunsenov plamenik (ili plamen spirita), u koji utakneš u žličici nešto natrija *N*. Plamen svijetli lijepom žutom svjetlošću i daje na zastoru, kad ga pomoću leće *L* baciš na prizmu *P* za spektar, samo poznatu žutu crtu *D*. Sada tek otvorimo električnu lampu i kroz njezinu pukotinu pustimo pramen bijele svjetlosti na plamen *N*. Smjesta ćeš na zastoru vidjeti potpuni krasni spektar bijele svjetlosti, samo baš na onome mjestu, gdje je čas prije stajala sjajna žuta crta *D* sasvim sama, baš tamo je sada sasvim crna debela crta. Crta natrija, čas prije svijetla, obrnula se u suprotno, u crnu crtu! To je glasoviti pokus Kirchhoffov nedoglednih gotovo posljedica za nauku. Što nam naime kazuje taj pokus? On nam veli sasma jasno: Usjana para natrija apsorbira iz čitavoga spektra bijele svjetlosti samo onu boju, koju ona sama izbija.



Sl. 149. Apsorpcija u natriju.

Pokus se može ponoviti s bojadisanim plamenom litija. Naći ćeš u spektru bijele svjetlosti samo dvije crne crte, i to baš na onome mjestu, gdje su čas prije stajale njegova crvena i narančasta crta.

I pomoću svakoga spetroskopa možeš još jednostavnije pokus ponoviti (sl. 149.). Bijela svjetlost petrolejske lampe *L* ide najprije kroz staklenu cijev *N*, u kojoj je komadić natrija, i ulazi u spektroskop *S* udešen za ravno vidjenje (à vision directe). Oko vidi u njem potpun spektar bijele svjetlosti bez i jedne tamne crte. Ugrijavši nešto cijev *N* plamenikom *G*, napunila se ona parama natrija, i gle: u žutom polju spektra eno stoji jedna jedina crna crta! Pomoću skale točno se odredi mjesto te crne crte. Sada se ukloni lampa i cijev *N*, a pred pukotinu dolazi plamen i u njem zrnce na-

trija. Oko vidi u spektroskopu sada baš točno na mjestu predjašnje crne crte sjajnu žutu crtu — spektar usjane pare natrijeve. Još samo jedan veoma sjajan pokus za potvrdu ovomu epohalnomu otkriću! Kad se medju bijelu električnu svjetlost i prizmu uklope usjane pare željeza, pokaže se u spektru bijele svjetlosti ništa manje nego 460 finih tamnih crta. No ukloni električnu svjetlost, pak će se svih 460 tamnih crta u tren oka prometnuti u isto toliko svijetlih crta, — poznati spektar usjanih para željeznih.

Iz ovih, a i mnogih drugih pokusa izvodimo zaključak:

„Svako tijelo apsobira iz bijele svjetlosti baš one zrake, koje sàmo izbija, kada svijetli“. (Kirchhoffov zakon emisije i apsorpcije.)

S ovim se zakonom u jedan mah odala dugotrajna tajna Fraunhoferovih crta u sunčanom spektru i ujedno pravo mišljenje o tome, što je naše Sunce.

Po analogiji naših pokusa moramo uzeti, da Sunce ima gustu jezgru usjanu do najžešće bjeline, koja sama za se daje potpun neprekidan spektar, kao i naša električna lampa, kod koje taj spektar dolazi od usjanih čestica čvrsta ugljena. Je li ta usjana jezgra čvrsta, ili tekućina, ili možda čak izvanredno gusta para, kakvih mi na Zemlji nemamo, o tome ne možemo odlučiti.

Ali to stoji, da je ta usjana jezgra umotana u usjane pare, u neku ruku atmosferu Sunca — dajemo joj ime „fotosfera“ — u kojoj je mnogo para različnih kovina, a i drugih kemijskih počela. Svaka tih para bira iz bijele svjetlosti jezgre svoje zrake i apsorbira ih, a bira baš one zrake, koje bi ona sâma izbijala. Ako si dakle točno odredio mjesta svijetlih crta svih kemijskih počela, kad svijetle kao usjane pare, moći ćeš po tom, kako se ta mjesta podudaraju s tamnim Fraunhoferovim crtama točno reći, od kojih je kemijskih počela sastavljena fotosfera Sunca. Na pr. budući da se dvostruka crna crta *D* sunčanoga spektra posvema podudara s dvostrukom svijetlom crtom natrija (i ova se razdijeli u dvoje u savršenu spektroskopu), moramo zaključiti, da u fotosferi Sunca ima natrija. Mi ćemo ovako u opće sve crne crte sunčanoga spektra isporedjivati sa svijetlim crtama naših kemijskih počela, navlastito kovina, i po tome nad svaku sumnju utvrditi. koje su tvari u fotosferi našega Sunca. Tako su — do sada — u njoj dokazani ovi elementi: natrij, magnezij, kalij, stroncij, barij, željezo, kobalt, nikalj, krom, mangan, vodik i helij — osim posljednjih

dvaju same pare kovina, a to je dokaz, da je fotosfera očito veoma vruća.

Pomislite samo: Sunce, od nas daleko 150 milijuna kilometara, odalo nam je nedvoumno svoje pravo biće, i to je tako sigurno, kao dva puta dva je četiri! Još prije 80 godina rekao je jedan od najvećih astronoma, da će nam fizikalna konstitucija Sunca i nebeskih tjelesa u opće ostati — vječna tajna!

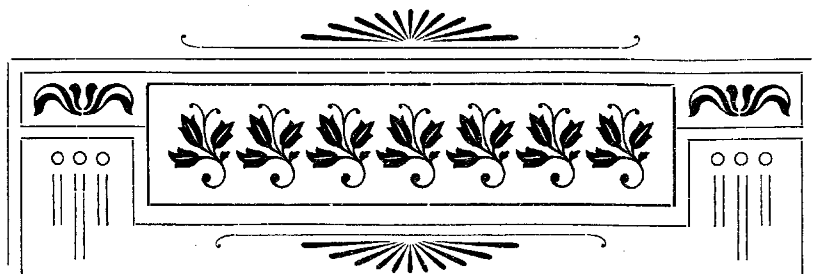
Ali što je daljina Sunca od nas spram daljine najsjajnije nekretnice na našem nebu Siriusa (u zvjezdištu Velikoga Psa), od kojega svjetlost treba do nas 8·6 godina! Što je Sirius, što su u opće sve nebrojene nekretnice na nebu? Navrni svjetlost na svoj spektroskop i odgovor je gotov: spektar Siriusa sličan je spektru našega Sunca gotovo kao jaje jajetu! I Sirius je dakle sunce poput našega i oko njegove je jezgre atmosfera usjanih para i plinova. Sve su nebrojene nekretnice sunca poput našega, jer su im svima spektri posvema slični spektru našega Sunca! Oko našega se Sunca valja osam velikih i nekoliko stotina malih planeta; na jednome od njih — na Zemlji — ima razumnih stvorova. Ako i druga nebrojena sunca imaju bar po nekoliko planeta, a medju tima opet barem po jedan, na kojem ima razumnih bića — možda kud i kamo savršenija od nas, — kakove li nam misli pucaju o — životu u svemiru!

Ali im ne puštamo maha. Ovdje ne možemo da ulazimo dalje u sjajne obrete spektralne analize na nebu, ma koliko nas to možda zanimalo. Nešto više o tom naći će čitatelji u drugoj knjizi istoga pisca,* a možda će se još kada naći prilika, da Matičari i o tom saznadu nešto više, što je spektroskop do naših dana privrijedio našemu pravomu znanju o svemiru!

Nama je sada opet krenuti na druge putove u carstvu svjetlosti. Možda nisu tako sjajni, ali su umu čovjekovu prava dika!

* Kučera: Naše Nebo. Crtice iz astronomije. S 142. slike u tekstu i 4 table. Nagradjeno iz zaklade grofa Iv. Nep. Draškovića za g. 1894. Zagreb 1895. Naklada Matice Hrvatske. Str. 152.—182.





VII.

Što je svjetlost?

Starija mišljenja o svjetlosti. — Descartesovo mišljenje. — Newtonova hipoteza emisije. — Francuski pokusi o brzini svjetlosti u vodi. — Huyghensova teorija undulacije. — Svjetlost je valovito gibanje etera. — Što je eter? — Ravni valovi u eteru. — Odbijanje valova svjetlosti od zrcala. — Fronte ravnih valova svjetlosti na lećama. — Postoji li eter i njegova svojstva?

1.

Dosadašnje se naše putovanje po carstvu svjetlosti i bojà može isporediti s putovanjem obrazovana društva ljudî u novu, nepoznatu zemlju. Mi razgledavamo nove gradove i sela, mi se, donekle i naporom, uspinjemo na zgodne vrhunce, pak nam se s njih otvaraju lijepi vidici; gdjekada nas ti vidici i ushite, pa razdragani uživamo u njima. No ma kako bilo sve lijepo, um nam nije zadovoljan, on pita i pita: gdje smo? kakva je to zemlja? kako je ona u svezi s poznatim nam krajevima? kakva su joj osobita svojstva i u čem se razlikuje od poznatih krajeva?

U sličnom smo stanju sada i mi na putovanju po carstvu svjetlosti i boja. Mi smo prirodnu svjetlost (Sunca) pratili na njezinu putu u tamnu sobu, mi smo vidjeli njezino rasprostiranje u pravcima na sve strane, mi smo vidjeli i sjenu i pomrčinu i kameru obskuru, mi smo pače i umjetnu svjetlost načinili, sličnu prirodnoj (ugljenova električna svjetlost); mi smo je odbijali, lomili i rastavljali u boje, pak te boje opet miješali. Uhvatili smo i nekoliko lijepih vidika — to su otkriveni zakoni tih pojava svjetlosti, a na jednom smo pače mjestu u velike mogli uživati u dalekom i prekrasnom vidiku, koji nam je pukao pred duševnim okom — mislim

spektralnu analizu. Mogli bismo pače ovim načinom naš izlet u carstvo svjetlosti po volji dalje nastaviti, našli bismo još mnogo i ljepših i zanimljivijih krajeva — ali što ćemo, kad smo — ljudi! Um naš — taj ponos naš — nije trajno zadovoljan ni najvećim izvanjim sjajem; u našem primjeru on nije dugo zadovoljan izvanjim poznavanjem pojava svjetlosti, pa ni njihovih zakona. On je tek onda zadovoljan, njega ispunjuje prava radost i on trajno uživa tek onda, kad su mu pred duševnim okom razjašnjeni principi, koji mu kazuju, da su prirodni pojavi u organičkoj svezi medju sobom, da je sve, što on gleda i u prirodi ispituje, — tek nužna posljedica tih principa.

Kako turista odmah pita, kakva je to zemlja, kaki kraj, tako i mi nestrpljivo pitamo „što je svjetlost", kaki je to agens, koji pred nama razvija krasne pojave svjetlosti i sjene i pojave boja?

I tu je točka, gdje i prirodoslovac skreće s puta pokusa, gdje prelazi preko granica svojih osjetila, gdje stupa u svijet s onu stranu osjetila. Um njegov mora da razvija odredjene slike stvari i pojava, ali te slike ne smiju biti neobuzdane, one treba da budu tako izradjene, da iz njih nužno ističu pojavi, što nam ih pokazuje izvanji svijet. Te su unutrašnje slike ono, što fizičari rado zovu — teorija prirodnih pojava. Kod stvaranja tih teorija bez sumnje radi fantazija, ali fantazija, koja se na svakom koraku svom vraća k činjenicama i na njima kontrolira svoje korake. Ta fantazija prirodoslovca ne skače po miloj volji preko realnih činjenica, ona je pače s njima u potpunu skladu.

Ovako je i nama sada poći u nevidljiv svijet, kako bismo našli odgovor na pitanje „što je svjetlost"? A nismo mi prvi, koji to pitamo! Već su se odabrani umovi starih naroda ovako pitali i prema svomu realnomu znanju o svjetlosti odgovarali. Tako na pr. nalazimo čak i mišljenje, da je svjetlost neka tvar, koja izlazi iz očiju naših, pak tako rasvjetljuje tamna tjelesa! No jasno je, da bismo onda morali i noću vidjeti ta tjelesa, kad otvorimo oči. Descartes je opet mislio, da je čitav svemir ispunjen nekakvim agensom, koji svjetlost momentano propušta, kao što na pr. ruka u tami smjesta osjeti, ako kraj palice, što je drži, udari o kakvu zapreku. Pokusi Roemerovi razbiše to mišljenje o svjetlosti. Veliki Newton stvorio si je opet drukčiju sliku o svjetlosti. On je znao, da se elastična kugla (lopta) odbija baš po istom zakonu kao i svjetlost. To je bilo ishodište njegovim duševnim slikama o svjet-

losti. On je uzimao, da svjetlost sastoji od gotovo neizmjerno malenih elastičnih čestica, koje svijetla tjelesa neprestano izbacuju užasnom brzinom, kao što na pr. topovi izbacuju kugle. Pojava odbijanja svjetlosti bila je lijepa potvrda njegovu mišljenju, a i rasprostiranje u pravcu — dok te čestice lete u praznu prostoru bez ikakve zapreke — potvrdjivalo bi njegovo mišljenje. A lomljenje? Tu je Newton ovako mislio: Ide li kugla iz topa koso k Zemlji, skreće ona s pravca, pak se Zemlji približava u krivulji, jer je Zemlja privlači silom težom. I čestice svjetlosti skreću sa svoga pravca, kad se na pr. približavaju staklu, jer ih, mislio je Newton, staklo privlači, a to je skretanje s pravca onaj pojav lomljenja, što ga i mi vidjesmo kod naših pokusa.

Treba ispitati, je li prava slika ta teorija o svjetlosti, što je nikla u duši velikoga Newtona? No kako se to može ispitati! Uzmimo njegovu teoriju za ishodište, za osnovu našega mišljenja. Ako je prava, moraju se logičkim izvodima dati odrediti pojavi, koji nužno iz nje izlaze. Ako se ti izvedeni pojavi zaista podudaraju s pojavima svjetlosti, što nam ih pokazaše naši pokusi, mišljenje postaje vjerojatnije. Nadješ li novih pojava svjetlosti, pak se i ti podudaraju s mišljenjem, e onda postaje mišljenje još vjerojatnije. Ako je napokon teorija takova, da stručnjaka pretvara u neku ruku u proroka, koji na osnovi onoga mišljenja proriče pojave, kojih još nitko živ nikada ni vidio nije, pak pokusi taka proročanstva zaista potvrde — e onda to mišljenje predobije za se svakoga, ono uvjerava svakoga, da je pravo. Ovako dolazi duh čovjekov od ograničena broja pojava do principa, do unutrašnje duševne slike, koja obuhvata sve pojave. To je bez sumnje najdivnija radnja duha čovjekova: koracanje od činjenicâ do principâ. Gdjekada koraca duh polako, gdjekada brzo, ali svagda je spoznaja principâ vrelo neobične, visoke, čiste radosti duševne. Ide li brzo, zna se radost dignuti do ushita, kaki je na pr. probio u glasovitom Arhimedovu „Heureka". Kad mu je najednoč sinula spoznaja principa, koji i danas ima njegovo ime, skočio je iz kupelji i gô letio po ulicama u Sirakuzi vičući „heureka" (našao sam).

Udaljismo se za čas od našega pitanja, ali napast je bila prevelika, da ne bismo bar s nekoliko riječi ocrtali način mišljenja prirodoslovnoga, koje je do danas slavilo tolika slavlja, i čovjeku bacilo u krilo tolik broj zrelih i krasnih plodova, a nema sumnje, da će slaviti još većih.

Kako stoji s te strane s mišljenjem Newotonovim o svjetlosti, koje je u nauci poznato uz ime „teorija izbijanja ili emisije“?

Ne možemo ovdje pokazati, kako je njezin početnik u svojoj glasovitoj knjizi „Optices libri tres“ od g. 1698. nastojao, da sve pojave svjetlosti istumači kao nužne posljedice svojega mišljenja. Tek ćemo istaknuti, kako bi po Newtonovu tumačenju lomljenja svjetlosti morala biti brzina svjetlosti u vodi veća od brzine u uzduhu, i to u omjeru 4 : 3, t. j., ako je brzina svjetlosti u uzduhu 300.000 kilometara morala bi biti u vodi 400.000 km. No pokusi u polovini devetnaestoga vijeka izvedeni u Francuskoj pokazaše, da to nije istina: brzina je svjetlosti u vodi manja nego u uzduhu. Da nema ništa drugoga, ta činjenica je dosta, da oda, kako je ovo mišljenje Newtonovo neosnovano.

Tko je medjutim od naših čitatelja pročitao naš članak o valovima na vodi i navlastito naš izlet u područje nevidljivih zvučnih valova u uzduhu, za stalno je i sam opazio, da se dosadanji pojavi svjetlosti u mnogočem baš u velike podudaraju s pojavima zvuka. Evo vam odmah prvoga pojava: rasprostiranje na sve strane u pravcima. I fronte valova u vodi i fronte zvučnih nevidljivih valova idu od svoga izvora na sve strane, a smjerovi, u kojima idu, jesu pravci okomiti na fronti vala. Eno vam pojava odbijanja. I vidljivi valovi vode i nevidljivi zvučni valovi odbijaju se po istom osnovnom zakonu, koji nam odade i svjetlost: kut odbijanja jednak je kutu upadanja. Mi smo pače u Huyghensovu principu (isp. str. 32.) našli uzrok, zašto se svaki val mora da odbija baš po tom zakonu. Eno vam napokon i pojava lomljenja: ponavlja se kod vidljivih valova vode, kod nevidljivih zvučnih valova i opet kod svjetlosti — te naše zagonetke, a gle čuda, u sva tri je slučaja osnovni zakon opet isti. Je li ta analogija puki slučaj? Gotovo ne bismo mogli toga vjerovati, pak da ništa više o svjetlosti ne znamo! I zaista je već godine 1678. — dakle 20 godina prije Newtonove knjige — Huyghens predao bio Pariskoj akademiji nauka raspravu, u kojoj iznosi svoje novo mišljenje, da bi i svjetlost bila nevidljivo valovito gibanje neke materije izmedju izvora svjetlosti i oka. Za zvučne valove imamo uzduh naše atmosfere: od izvora zvuka ide cio niz uzdušnih valova sve do uha i potresi bubnjića od udaraca tih fronta izvode osjet zvuka. No što je sredstvo za umišljene valove svjetlosti? Izmedju Sunca, zvijezdâ i Zemlje za

stalno nema nikakve tvari poput vode i uzduha, u kojoj bi se mogli rasprostirati kakvi valovi, jer bi nam se ta tvar morala i inače odati, pa bila kako tanka. I tu je nikla u genijalnoj glavi Huyghensovoj prvi put misao, da bi cio svemir bio ispunjen neteškom nekom tvari, koja nam se poradi toga svoga svojstva i ne odaje inako, nego u svjetlosti, koja k nama dolazi iz neizmjernih daljina svemira. Kako čestice uzduha zadršću od titraja u izvoru zvuka, pak se ta drhtanja njihova šire kao fronte valova u uzduhu, tako po mišljenju Huyghensovu zadršću čestice „etera“ — to je ime toj neteškoj tvari, koja ispunjuje ne samo sav svemir, nego prodire i u unutrašnjost svih prirodnih tjelesa, — od titraja toga istoga etera u izvorima svjetlosti, pak se i u njem fronte valova valjaju jedna za drugom u odmjerenim razmacima, kao fronte dobro uredjene vojske. No misao, koja je najednoč ispunila čitav svemir eterom, bila je suviše smiona, da se od nje ne bi poplašili slabiji umovi od Huyghensova, i u tom je glavni uzrok otporu, na koji je naišlo ovo novo mišljenje Huyghensovo o svjetlosti: „teorija undulacije“.

To je teže bilo prihvatiti ovo mišljenje, što taj „eter“ ima da bude neteška tvar, pak se ne da njegova eksistencija ravno dokazati, a nije ni danas tako dokazana; eter je i danas još po svojim svojstvima jedna od velikih zagonetaka prirodne nauke. Tek najnovija istraživanja fizike kao da su pošla putem, na kojem bi se u nedalekoj budućnosti mogla razbistriti i ova velika zagonetka.

No ako uzmemo za osnovu svojega mišljenja Huyghensovu teoriju, da u svijetlim tjelesima titraju čestice etera, kao što u zvučećem tijelu titraju njegove čestice, da se ti titraji prenose na izvanji eter i u njem izvode valove, kojima fronte marširaju odredjenom brzinom (300.000 kilometara u sekundi = 3×10^{10} centimetara u sekundi) kroz eter na sve strane, dok same njegove čestice tek izvršuju male titraje na svojim mjestima, ako dalje uzmemo, da oni titraji napokon udaraju na mrežnicu naših očiju i u oku izvode osjet svjetlosti, — oživio je pred našim duševnim okom cio svemir novim osebujnim životom. Kako se u dvorani od glasova orkestra uzbibaše sve čestice uzduha, tako se od svjetlosti nebeskih luči uzbibaše sve čestice etera u čitavom beskrajnom svemiru. Pred nama je pukao neizmjerni ocean etera, u kojem se neprestano ukrštavaju bezbrojni valovi dugi i kratki, jaki i slabi, a posljedica je neprestana uzburkanost toga oceana. Mi je ne osjećamo, mi pače ni toga

oceana tjelesnim našim osjetilima ne osjećamo — tek dvije male rupe u lubanji našoj javljaju nam nešto o tom, što se sve zbiva u njem!

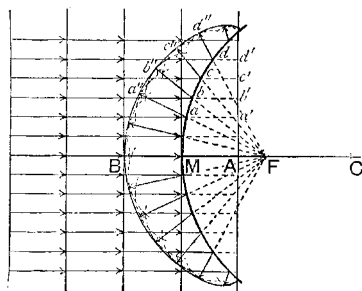
Ustavimo se časak kod ove veličanstvene slike, pa kao oprezni motrioci prigledajmo, kako se podudara s onim, što o svjetlosti znamo!

Pred nama je negdje daleko svijetla točka, izvor svjetlosti. To će reći, da čestice etera u tom izvoru svjetlosti titraju, kao što na pr. titraju čestice željeza u akustičnoj vilici, dok zveči. Prestanu li čestice vilice titrati, prestaje i zvek njezin. Tako bi i kod svijetle točke bilo po mišljenju Huyghensovu: prestanu li čestice etera u njoj titrati, ona utrne. Kako od akustične vilice izlaze zvučni valovi, kojima fronte u obliku kugala marširaju, jedna za drugom, sasvim pravilno i u jednakim razmacima kroz uzduh brzinom zvuka od 333 metra u sekundi ($= 3{\cdot}3 \times 10^3$ centimetara), pa udaraju o uho, budeći u njem osjet tona, tako po Huyghensovu mišljenju izlaze iz svijetle točke valovi svjetlosti, kojima fronte marširaju u obliku kugala, jedna za drugom, u jednakim razmacima kroz eter u praznom prostoru svemirskom i u našoj atmosferi brzinom svjetlosti od 300.000 kilometara u sekundi ($= 3 \times 10^{10}$ centimetara), pa udaraju o oko, budeći u njem osjet svjetlosti. U oči nam udara prije svega ogromna razlika u brzini rasprostiranja ($3{\cdot}3 \times 10^3$) : (3×10^{10}). Ta nas razlika nuka na razmišljanje o eteru.

Za brzinu zvučnih valova u uzduhu i u plinovima pokazaše nam pokusi, da ona zavisi o elasticiteti i gustoći plina (isp. str. 70): što je veća elasticiteta, to je veća brzina rasprostiranja, a što je veća gustoća plina, to je manja brzina. Brzina bi svjetlosti prema tomu zavisila samo o elasticiteti i gustoći toga našega etera. Budući da je u njem brzina rasprostiranja za valove svjetlosti tako užasno velika, mora da je ili njegova elasticiteta spram teških, nama poznatih tvari, nad svaku mjeru velika, ili mu je pak gustoća spram naših tvari u istoj mjeri malena pod svaku mjeru, a može i velika elasticiteta zajedno biti s veoma malenom gustoćom, pa tako nam se jednostavno razjašnjuje veoma velika brzina svjetlosti. Fronte vodenih i zvučnih valova redovno su krugovi ili kugle; no mogu da budu i ravne. Zrake su vala u svakom slučaju pravci okomiti na fronti vala; u prvom su slučaju dakle polumjeri krugova, koji svi izlaze iz središta kruga, u drugom su slučaju pravci medju sobom usporedni, ali okomiti na fronti. Navlastito ako je izvor

vala veoma daleko, moći ćeš svagda komad njegove fronte uzeti za pravac, a zrake njegove za okomice na tom pravcu. Kod valova svjetlosti, koji dolaze gotovo svagda od veoma dalekih izvora svjetlosti, smjet ćemo prama tomu svagda govoriti o „ravnim frontama valova svjetlosti.

Neka takva ravna fronta vala svjetlosti maršira na krivu površinu konveksnoga (pupčastoga) zrcala (sl. 150.), kojemu je sredina u *M*. Kakva će biti ta fronta nakon odbijanja? Sredinu će *M* valovi, koji dolaze, najprije pogoditi i taj će se dio fronte najprije odbiti. Da nije bilo zapreke, bila bi sva fronta u nekom malenom vremenu došla do položaja *A*. A kuda će zaista? Dio fronte, koji je udario u *M*, ide natrag za *MB* = *AM*, doći će dakle do *B*. Dio fronte, koji udari na zrcalo kod točke *a*, stići će na zrcalo nešto kasnije, pak će se nešto kasnije i odbiti. Uzmite šestilo u ruku, pak izmjerite put, što bi ga taj dio fronte imao prijeći do *a'*, da nema zrcala, obrnite šestilo i opišite luk s istim polumjerom $aa'' = aa'$; to uradite za dijelove fronte, koji dolaze na zrcalo kod *b, c, d* . . ., pak ćete smjesta naći, da nova fronta vala, koja se iz tih pojedinih sastavlja, ide od zrcala natrag, kao da je izašla iz točke *F*, koja je baš u sredini polumjera zrcala *MC*.

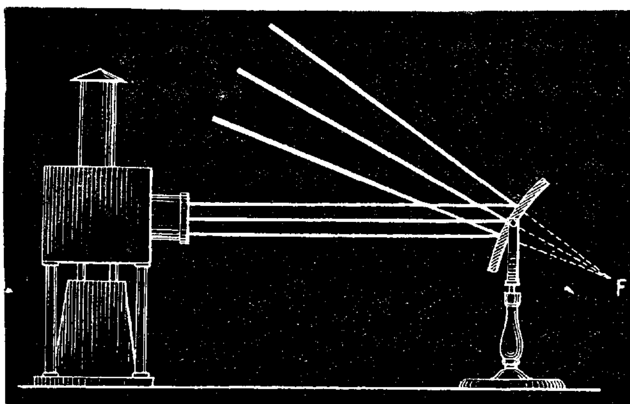


Sl. 150. Odbijanje svjetlosti od pupčasta zrcala.

Odbijanjem od pupčasta zrcala pretvorila se ravna fronta vala svjetlosti u krivu frontu, koja je takodjer pupčasta kao i zrcalo, ali joj je polumjer krivine manji. Dabome da sada ni zrake vala svjetlosti nisu više usporedni pravci, nego pravci, koji se razilaze (divergentni), kao da dolaze iz točke *F*. A što na to vele naši pokusi? Slika 151. to lijepo pokazuje: usporedne zrake svjetlosti nakon odbijanja od pupčasta zrcala, zaista se razilaze!

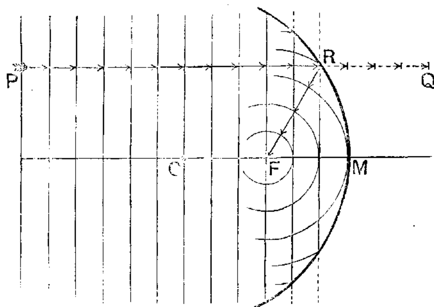
Pustimo li sada ravnu frontu vala svjetlosti na ugnuto zrcalo (sl. 152.), pretvara je i ova kod odbijanja u krivu frontu, ali sada ugnuta oblika, pa kako te krive fronte sada natrag marširaju, sastaju se u jednoj točki *F*: fronte se sve više suzuju i napokon se splinu u točki *F*. Dio fronte na pr. kod *P* ide ravno na zrcalo smjerom *PR*, dok ne udari o zrcalo. Mjesto da ide prama *Q* dalje, odbija se natrag; ravna fronta dobiva (po konstrukciji,

koja je slična predjašnjoj) odbijanjem od ugnuta zrcala takodjer ugnut oblik i ide natrag prama točki F, a tamo idu i drugi dijelovi fronte. U toj se točki sastaju sve odbijene fronte, tamo je reelno žarište zrcala. Dabome, da ni zrake toga vala ne ostaju usporedni pravci, nego se stiču u jednoj točki F, zrake se u njoj sabiru.



Sl. 151. Odbijanje svjetlosti od pupčasta zrcala.

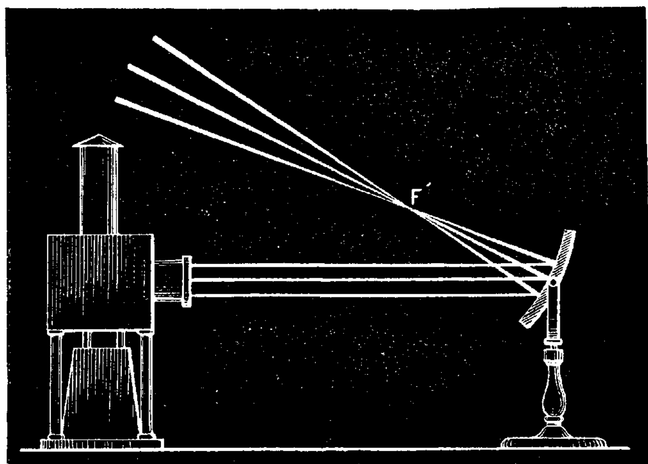
Ugnuto zrcalo dakle ima to osobito svojstvo, da ravne valove odbijanjem pretvara u ugnute valove, koji svi teku k jednoj točki. Što na to pokus sa svjetlošću? Iz lampe (sl. 153.) izlazi pramen usporednih zraka svjetlosti i udara o ugnuto zrcalo. Nakon odbijanja se zaista sastaju u točki F', kako to ište teorija undulacije.



Sl. 152. Odbijanje ravna vala od ugnuta zrcala.

No idimo još korak dalje! Valovi svjetlosti idu u uzduhu brže nego u vodi ili staklu. Dok fronta vala u uzduhu prijedje 12 metara, prijeći će u vodi 9 metara, a u staklu samo 8 metara; brzina je naime svjetlosti u vodi samo $^3/_4$, a u staklu samo $^2/_3$ od njezine brzine u uzduhu i u slobodnom eteru. Iz te razlike u brzini izlazi pojav lomljenja valova, koji smo već kod vodenih valova mogli opaziti (isp. str. 33.). Ovdje je mjesto, da taj pojav iz bližega

proučimo za valove svjetlosti. Pitamo se jednostavno, kako će fronta vala svjetlosti promijeniti svoj oblik, ako udari o ravan komad stakla? Neka bude u *P* (sl. 154.) svijetla točka, a iz nje idu valovi svjetlosti na ravnu površinu stakla. Valovi su kugle sa središtem u *P*. Za neko će vrijeme fronta vala doći do *FF'*. Da ide u uzduhu dalje, došla bi fronta čas kasnije u položaj *GG'* koncentrično s *FF'*. Ali ona udara u *F* na staklo i taj dio fronte ulazi najprije u staklo, pa ide u njem nešto sporije i doći će u onom vremenu ne do *G*, nego samo do *H*, t. j. ona za $^1/_3$ puta manje prevali nego u uzduhu. Uzmi opet šestilo u ruku, pak za svaki dio fronte vala uzmi $^2/_3$ onoga puta, što bi ga još prevalio u uzduhu, za polumjer i tim polumjerom opiši

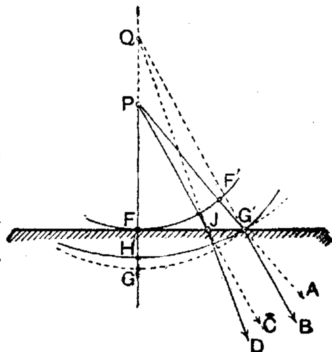


Sl. 153. Odbijanje svjetlosti od ugnuta zrcala.

lukove. Ovi se pojedini valići po Huyghensovu principu slože u novu frontu vala *HG'*; smjesta vidimo, da ona ima manju krivinu, nego predjašnja fronta, pak da joj je središte *Q* dalje od stakla iza središta *P* one fronte, iz koje je lomljenjem u staklu postala.

Izbija dakle zanimljiva činjenica, da staklo poradi toga, što val usporuje, frontu njegovu načini nešto plićom, krivinu fronte nešto umanjuje, pak se novi valovi rasprostiru u staklu, kao da ne izlaze iz točke *P*, nego iz točke *Q*, koja je za polovinu od *PF* dalja od stakla. Bacite sad oko na zrake staroga i novoga vala! Kad se krivina fronte promijenila, morali su se dakako i smjerovi njihovih okomica promijeniti, a to su baš zrake vala. Zrake staroga

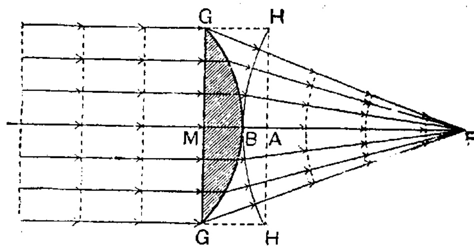
vala jesu *PI* i *PG'*, a zrake novoga vala u staklu jesu *QID* i *QG'B*. Mjesto da val u staklu maršira starim smjerom *G'A*, on ide sada nešto strmijim smjerom *G'B*. Ova nagla promjena u smjeru zrake na prijelazu u staklo okrstismo imenom „lomljenje“. Ujedno razbiramo, da će staklo svjetlosti jače lomiti nego voda, jer staklo usporuje vale više nego voda; laka crown stakla (čitaj: kraun-stakla = krunska stakla), u kojima nema olova, lome val manje, nego teška flint-stakla (kristalna stakla), u kojima je olova. Ne trebamo čitateljima ni spominjati, kako nam sve te izvode iz teorije undulacije baš sjajno potvrdiše naši pokosi o lomljenju svjetlosti (isp. str. 180.). Osobito nas zanima lomljenje svjetlosti u lećama sabiračama. Da vidimo, kako to pitanje stoji sa stajališta Huyghensova mišljenja!



Sl. 154. Lomljenje valova svjetlosti.

Na leću sabiraču (sl. 155.) marširaju jedna za drugom fronte r a v n i h valova svjetlosti u smjeru strjelica. Zrake su pravci usporedni s osovinom leće *MBF*. Što će se od tih fronta dogoditi, kada udju u leću, pa u njoj marširaju manjom brzinom?

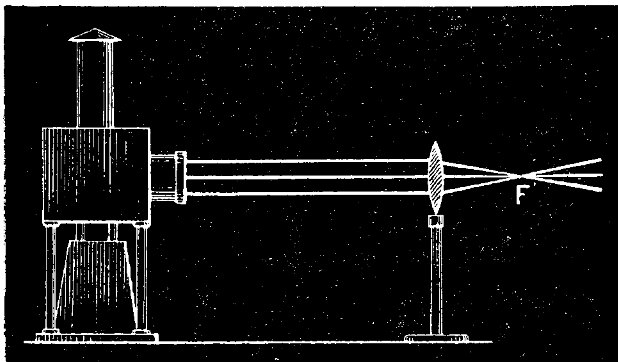
Ravan val udara o ravnu plohu stakla *GMG*, koje je na drugoj strani pupčasto (konveksno). Da n e m a stakla, došla bi fronta u nekom malom vremenu do *HAH*. Srednji dio vala udara kod *M* na staklo i ide kroz staklo dalje do *B*, i taj je put samo $^2/_3$ od puta, što bi ga val u tom istom vremenu u uzduhu prešao. Da nije bilo stakla, put bi toga dijela vala bio još za polovinu veći, t. j. on bi bio došao do *A*, ako je $BA = {}^1/_2\, MB$. Dijelovi vala kod *G* idu gotovo sasvim kroz uzduh, oni su dakle zaista došli do *H*. Nova fronta, kad izadje iz leće, ne će više biti r a v n a, nego će imati u g n u t oblik *HBH*, pa kako ide dalje smjerom strjelica u slici, sastavit će se u točki *F*, u „žarištu“ leće. Posljedak bi lomljenja bio isti, da leću



Sl. 155. Lomljenje vala u sabirači.

okrenemo i pupčastu stranu obrnemo k ravnomu valu: i sada bi se ravna fronta vala lomljenjem u leći sabirači pretvorila u ugnutu (konkavnu) frontu. Prije lomljenja usporedne zrake vala, sada se stiču k istoj točki F. Što će na to pokus sa svjetlošću? U slici 156. eno idu iz lampe usporedne zrake na leću, pak zaista izlaze stičući se u točki F'. Nije li i to baš sjajna potvrda mišljenju Huyghensovu, da je svjetlost valovito gibanje etera?

Ovako bismo mogli svaki pokus svjetlosti na osnovi Huyghensova mišljenja sa šestilom u ruci raspraviti i svagdje bi se naša konstrukcija posvema podudarala s pokusom. Divna slika duševna o biti svjetlosti, koju nam je naslikao Huyghens, savršeno nam tumači sve pojave odbijanja i lomljenja svjetlosti: šteta samo, što



Sl. 156. Zrake svjetlosti u leći sabirači.

ovdje ne smijemo upotrebiti govora matematičkoga, da pokažemo u tančine čitateljima, kako iz toga mišljenja nužno izlaze i svi zakoni odbijanja i lomljenja svjetlosti.

I ovo, što im šestilom u ruci mogosmo predočiti, bit će dosta, da im razjasni veliku misao Huyghensovu o svjetlosti, njezinu veliku plodnost za tumačenje pojava svjetlosti, što ih do sada upoznasmo. Osnova čitavoj teoriji je hipoteza, da postoji eter, t. j. tvar, u kojoj se rasprostiru valovi svjetlosti, kao što prije upoznasmo uzduh kao tvar, u kojoj teku nevidljivi zvučni valovi. — Eter je tvar hipotetična, tvar bez sumnje različna od naših poznatih tvari, pak se samo po sebi nameće pitanje, je li baš nužno uzeti, da postoji taka tvar? Ne bismo li mogli i za svjetlost uzeti, da čestice tjelesa same izvode i titraje svjetlosti, kao što izvode i titraje, koje

osjetismo kao zvuk? Nisu li možda čestice uzduha, vode i stakla same one tvari, koje izvode valovita gibanja, što na naše oko djeluje kao svjetlost? Mogli bismo se tim ukloniti tomu, da uzimamo u prirodi tvar, koje ne možemo dokazati. Odgovor na ova pitanja jest: ne možemo nikako uzeti, da čestice samih tjelesa izvode te titraje, niti možemo uzeti, da su te čestice ono, što valove svjetlosti dalje prenosi: Evo zašto!

Prije svega pokazuje iskustvo, da svjetlost prolazi kroz sve prostore, pa i takve, iz kojih je obična materija uklonjena, koliko se u opće ukloniti može. Izvuci uzdušnom sisaljkom uzduh, što godj možeš bolje, iz staklena suda, tako da na pr. zvuk kroz tu rastanjenu materiju već ni najmanje ne prolazi: zrake svjetlosti prolaze baš kao i prije, za njih nema razlike, je li sud pun uzduha, ili nije.

Za svjetlost znamo dalje, da nam dolazi od Sunca i zvijezda, a u svemirskom prostoru izmedju zvijezda za stalno nema ništa takih tvari, kakve su na Zemlji, jer bi gibanje planeta oko Sunca moralo biti poradi otpora tih tvari, pa bile one i jako rastanjene, sasvim drukčije, nego što je zaista. Obična materija dakle ne može nikako da bude ono, što se u valove uzbiba i svjetlost k nama prenosi. Po gotovo je to nevjerojatno, kad se sjetimo velike brzine svjetlosti. Baš po njoj saznadosmo, da nema na Zemlji ni jedne tvari, pa ni u najtanjem stanju, koja bi imala tako malu gustoću i tako veliku elasticitetu, da bi valovi u njoj mogli marširati tako užasnom brzinom. S tih razloga nije bilo druge, nego uzeti, da je nosilac toga valovitoga gibanja, koje se našemu oku očituje kao svjetlost, — posebna tvar, eter, i da nema mjesta u svemiru, ali ni u kojem tijelu, gdje ne bi bilo toga etera. Sva materijalna tjelesa u svemiru pričinjaju nam se sada kao spužve, uronjene u beskrajni ocean etera: kroz sve šupljice njihove, pa i najmanje, ide eter, baš kao što je voda u svim šupljicama obične spužve!

Čitavoga velikoga niza prirodnih pojava naprosto ne bismo mogli shvaćati — u prvom redu su to svi pojavi svjetlosti — kad ne bismo uzeli u pomoć etera. O svojstvima te tvari danas dakako još ne znamo mnogo, tek to znamo, da mora biti nad svaku mjeru tanka i veoma elastična, kako bi se u njoj mogli valovi rasprostirati tolikom brzinom, kakvu ima svjetlost. No najnovija otkrića u području zrakâ, Röntgenove, Becquerelove i Hertzove električne zrake, kao da će u skoroj budućnosti i u svojstva etera unijeti nešto više svjetlosti, pak bi nam se moglo razotkriti i pravo biće njegovo,

koje bi znalo nauci donijeti i velikih iznenadjenja, ako nas znaci ne varaju.

No kada taj svemirski eter ne bi imao nikakvih drugih svojstava, nego da prenosi svjetlost, morali bismo reći, da stoji na slabim nogama, da su fizičari nešto uzeli, kako bi si pomogli u neprilici. Kad mi na pr. za eksistenciju našega uzduha oko nas ne bismo imali drugih dokaza, nego taj, da si bez njega ne možemo razjasniti, kako zvuk od svoga izvora dolazi do nas, za stalno bi velika većina nas rekla, da je veoma dvojbeno, da li taj uzduh postoji. Kao što naš uzduh ima još drugih svojstava, kao što on izvršuje još i druge zadaće osim prenošenja zvuka, tako moramo bez sumnje zaključiti: ako eter zbilja postoji, mora da i on ima još drugih svojstava, mora da i on izvršuje još druge zadaće, u jednu riječ, mora da nam se i drukčije u prirodi očituje, a ne samo kao nosilac valova svjetlosti. I zaista najnovije tekovine nauke na polju magnetizma i elektricitete pokazuju sve više, da se gotovo svi pojavi i na tom području prirode osnivaju ponajviše na — eteru. I tako dobivamo za eter sve više novih dokaza njegove eksistencije, on je tvar, koja nam se tek očituje u rasprostiranju svjetlosti i u nekim pojavima magnetizma i elektricitete.

Prilično se udaljismo od našega putovanja po realnom carstvu svjetlosti i boja i sagradismo drugi nevidljivi svijet, koji pored vidljivoga postoji, njega obuhvata, ali i širuje.

No prije nego što ćemo prihvatiti taj nevidljivi svijet gibanja eterskih, mi ćemo kao objektivni mislioci oprezno istraživati, je li ovo smiono mišljenje Huyghensovo, teorija undulacije, zaista podobno, da nam rastumači sve pojave svjetlosti. I tu na nas odmah navaljuje sva sila pitanja.

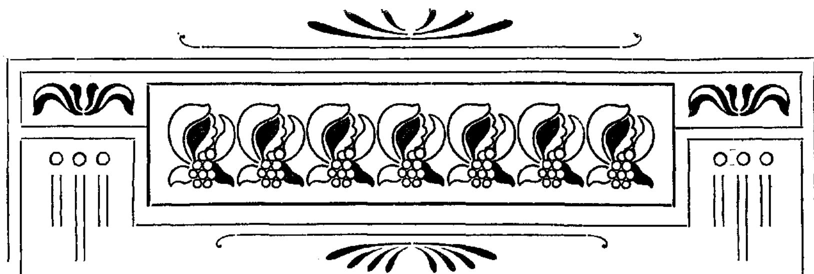
Ako je svjetlost zaista valovito gibanje u eteru, koje se u njem rasprostire brzinom od 300.000 kilometara u sekundi, nastaje prije svega pitanje, je li to valovito gibanje uzdužno (longitudinalno), ili poprijećno (transversalno), t. j. titraju li čestice etera u zraci vala uzdužno, kao kod zvučnih valova, ili pak okomito na zrake vala, kako to na pr. vidjesmo kod vodenih valova? U prvom bi slučaju svaki val sastojao od zgusnute i rastanjene vrste (isp. sliku 22. i 25.), a u drugom bi svaki val imao brijeg i dô. Kolika je dužina svakoga vala sjetlosti, t. j. koliko je centimetara na pr. od vrška jednoga brijega do vrška drugoga? Za vodene valove nadjosmo za tu dužinu poprijeko 20 metara (ispr. str. 20.), ali vidjesmo već ondje,

da svi vodeni valovi nisu jednake dužine. Za zvučne valove pak nadjosmo po gotovo, da nisu jednake dužine. Ton c_1 na pr., koji postaje, ako čestice akustične vilice na pr. u sekundi izvršuju 256 titraja, izvodi u uzduhu valove dugačke 130 centimetara, dok su valovi najvišega tona, što ga čovjekovo grlo još može da pjeva, dugački jedva $2^1/_2$ centimetara, a oštar fićuk izvodi u uzduhu nevidljive zvučne valove dugačke jedva 1·5 centimetara. U opće ćeš lako izračunati dužinu svakoga zvučnoga vala, ako brzinu zvuka razdijeliš na broj titraja, što ih zadani ton izvršuje u sekundi. I valovi svjetlosti postaju tim, da se titraji etera u izvoru svjetlosti prenose žurno na sve dalje čestice izvanjega etera, koje isto tako titraju kao i one u izvoru svjetlosti. I njihovu bismo dužinu lako izračunali, kad bismo znali, koliko titraja izvršuju u svakoj sekundi čestice etera u izvoru svjetlosti. Evo dakle novoga pitanja: kolik je broj titraja eterskih čestica u valu svjetlosti u svakoj sekundi? A to je pitanje veoma važno. Kod zvučnih valova vidjesmo, da baš samo o tom broju titraja zavisi visina tona. Imaju li sve svjetlosti isti titrajni broj, ili su ti brojevi različni za različne svjetlosti? Ako su različni, kako nam se ta razlika očituje u oku? Za zvučne valove naime znamo, da uho tu razliku veoma dobro osjeća. Koliko titraja svaka čestica u sekundi izvrši, toliko zvučnih valova udari u sekundi o naše uho, a po tom se broju uhu očituje viši ili niži ton.

Ovaka nam se pitanja vrzu po glavi, kad se predamo smjeloj misli Huyghensovoj, da bi i svjetlost mogla biti valovito gibanje, slično zvuku. Mogli bismo na sva ta pitanja odgovoriti s par redaka s primjedbom, da je nauka te i te brojeve našla o valovima svjetlosti — pa mirna Bosna! Toga ne činimo, jer bi se tijem ogriješili u prvom redu o inteligenciju naših čitateljica i čitatelja, koji su već za stalno navikli tomu, da u prirodnoj nauci ne treba vjerovati, nego se znanje stiče, a u drugom redu i o prokušanu metodu prirodne nauke, koja je svagdje slavila triumfe — pak baš i ovdje na području svjetlosti i boja — ponajljepše.

Kako bi i naše prijazne čitateljice i čitatelji osjetili taj triumf i u njem uživali, molimo ih, da s nama podju još nešto dalje u carstvo — bojâ, u nove još ljepše krajeve toga zaista bajno lijepoga carstva!





VIII.

Mjehuri od sapunice.

Mjehuri od sapunice i boje na njima. — Plateauova rastopina. — Newtonovo staklo za boje tankih vrsta. — Širina Newtonovih koluta. — Te boje potječu od ukrštavanja valova svjetlosti. — Youngov pokus. — Fresnelovo mjerenje dužine valova svjetlosti.— Valovi različne dužine daju različne boje; najduži valovi daju crvenu, a najkraći ljubičastu. — Dopplerov princip i gibanje zvijezda u dogledníci. — Skretanje svjetlosti. — Grimaldijev pokus. — Pokusi s jednom uskom pukotinom. — Mrežice za skretanje svjetlosti: Nobertove i Rowlandove mrežice. — Prizmatički i normalni spektar.

1.

Po Londonu je nekoć pukao glas, da je veliki Newton podjetinjio! A zašto? Ljudi, koji su prolazili kraj njegove kuće, vidjeli su ga često, kako puše mjehure od sapunice — dakle se očito igra kao dijete. Za praktična Engleza drukčijega zaključka nije moglo biti. Pa ipak su one krasne pune boje, što ih vidiš na tankoj i prozračnoj kožici takova mjehura, naučan problem prvoga reda, važan upitnik u nauci o svjetlosti. Istina je: mala, a i mnoga velika djeca, nikada se u svom životu za stalno ne zapitaše, otkuda mjehurima od sapunice one žive boje? Ali Newton se je upitao, a nije bio on sam tako „nepraktičan“ čovjek; već prije njega „igrali“ su se tim mjehurima i drugi nepraktični ljudi, kao na pr. Englezi Boyle (čitaj: Bajl; 1627.—1691.). i Hooke (čitaj: Hûk; 1635. do 1721.). Treba doduše i to reći, da imena tih ljudi žive i danas u nauci, a sva je prilika, da će u njoj i vjekovati, dok su imena njihovih praktičnih suvremenika već davno, davno zaboravljena. U sred ovako „praktičnoga“ svijeta teško je i pomisliti, da bi ljudi čiste, nesebične nauke sa svojim radom, koji je tako daleko od područja praktičnoga života, našli dublje simpatije u takim zemljama,

gdje samo praktični rad nešto vrijedi. Pa nije to tako bilo samo prije dvjesta godina u engleskom narodu, koji je već onda slovio sa svoje praktičnosti, ima i danas naroda, gdje ne razumiju sličnih naučnih nastojanja, gdje za zastupnike takih smjerova praktični ljudi, koji u svem narodnjem životu imaju prvu riječ, nemaju drugo do sažalnoga smiješka; ne razumiju njihove strpljivosti, a da bi ih u njihovu nastojanju bar materijalno podupirali, tomu se ne mogu ni domisliti. Tko bi još za takve mušice dao svoje pare? Ne bismo morali prijeći svoga praga tražeći danas takve praktične narode! No kolovodje tako zvanih praktičnih naroda, Englezi i Amerićani kao da su se predomislili: nema danas na Zemlji naroda, koji bi više podupirao najčišća naučna nastojanja od Amerićana!

No na sreću se nadje u svakom narodu svagda takvih nepraktičnjaka, koji ne mare puno za onaj smiješak i sve, što se na nj nadovezuje, nego idu — svojim putem. Njima će pravedno suditi, koji su im ravni, a drugi — tek će se naučiti, da se pokoravaju tomu sudu!

No kanimo se takih refleksija, pak se pitajmo radije, kakova se to velika zagonetka krije u bojama mjehura od sapunice, da je čak veliki Newton našao za vrijedno uhoditi joj tragom?

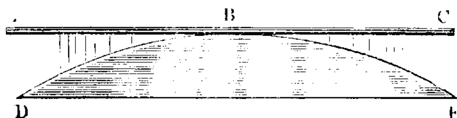
Mjehuri su od sapunice veoma poznat pojav, no ipak će biti dobro, da se kod njih časak zaustavimo. Slijepi fizik Plateau (čitaj: Platô, 1801.—1883.) našao je smjesu za te mjehure, da se ne raspuknu tako lako, nego da se u mirnu uzduhu mogu i četvrt sata držati. Ta se „Plateauova rastopina“ ovako načini: 25 grama marsiljskoga sapuna rastopi u 1 litri destilirane vode, grijući pri tom umjereno vodu; rastopina neka se opet ohladi na temperaturu sobe i onda joj primetni 660 grama glicerina. Stresavši dobro smjesu ostavi je, da stoji nedjelju dana, ohladi je onda u ledenoj vodi na 3° C i filtriraj (procijedi) je kroz papir za filtraciju, koji jako propušta; mutnu tekućinu lijevaj natrag na filtar, dok ne bude filtrirana tekućina posvema čista i bistra. S pomoću takve sapunice možeš na zdjelici lako napuhnuti mjehur, koji će biti i velik i trajan. Što nam pokazuje? S početka nema nikakvih boja. Kako se mjehur po malo uvećava, postaju po malo i boje, a kako se mjehur sve više uvećava, tako se mijenjaju i boje: na istom ćeš mjestu najprije vidjeti crvenu, onda žutu, pa zelenu i napokon modru boju.

O bojama smo u predjašnjem članku mnogo govorili, i o spektralnim i o bojama tjelesa. No ovih boja po dosadašnjem našem znanju o bojama ne možemo nikako da razumijemo! Ove su boje u

sapunici, a to je bezbojna tvar, a i u sapunici se javljaju tek u osobitim prilikama, kad se od sapunice načini tanak, sasvim prozračan mjehur. Te boje nikako nisu mogle postati iz bijele svjetlosti apsorpcijom nekih dijelova bijele svjetlosti, jer sapunica je sasvim prozračna i bezbojna, a kraj tančine mjehura ne može biti ni govora o kakvoj apsorpciji. Pred nama je zaista novo, neriješeno pitanje o bojama i ta je zagonetka poticala i Newtona i njegove drugove, da se bave oko mjehurâ od sapunice.

Te boje očito imaju svoj izvor u tom, što je vrsta sapunice kod tih mjehura vanredno tanka, jer dok je ona debela, mi zaista ne vidimo nikakvih boja. Nema drugo nego priznati: Veoma tanka vrsta sasvim prozračne tvari (sapunice) smještena medju druge dvije prozračne tvari (uzduh s unutrašnje i izvanje strane sapunice) pokazuje nam boje.

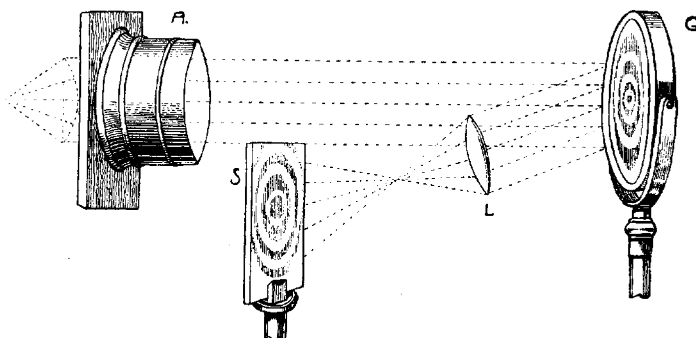
I sada nam smjesta puca pred očima, da smo i inače češće vidjeli takih boja. Kad se zimi prozori oklope tankom vrstom vode, opazit ćeš često takodjer boje. I te su očito iste vrste, kao i boje sapunice, jer je i tu „tanka vrsta“ prozračne vode izmedju druga dva prozračna i bezbojna tijela, izmedju stakla na jednoj i uzduha na drugoj strani. Na vodu u zdjelici kapni kap terpentinova ulja. Za čas se raširi po čitavoj površini vode i čini na njoj vanredno tanku i prozračnu vrstu ulja. Tko ne zna, da i ona pokazuje boje sapunice, gdjekada baš veoma lijepe? I tu je veoma tanka vrsta prozračnoga ulja smještena izmedju dva prozračna tijela, vode i uzduha. Poradi toga je nauka dala tim bojama ime „boje tankih vrsta“ ili takodjer „boje tankih pločica (listića).“



Sl. 157. Newtonovo staklo za boje tankih vrsta.

Kad je Newton te boje izučavao na mjehurima od sapunice, opazio je doduše, da postajanje tih boja zavisi samo o debljini ili bolje tančini vrste i da se boja mijenja prema debljini vrste. No promjenljivi i kratkovjeki mjehuri sapunice veoma su smetali izučavanju: mjehur pukne i nestalo je najkrasnijih boja. Trebalo je učiniti dvoje: trajniju tanku vrstu kojega prozračnoga tijela i vrstu različne debljine, koja se dâ točno mjeriti. Oštroumni je Newton oboje riješio upravo genijalno. Na staklenu leću *DBE* (sl. 157.), s jedne strane ravnu, a s druge pupčastu, kojoj je kri-

vina ipak veoma malena, položio je ravnu staklenu ploču *ABC*. Što je tim dobio? Tanku vrstu uzduha, smještenu medju dva prozračna tijela, staklo s jedne i druge strane, dakle je uvjet postajanju ovih boja ispunjen, samo što će se boje sada razvijati u tankoj vrsti uzduha, dok su se prije razvile u tankoj vrsti sapunice. Ali i drugo je učinio: debljina je tanke vrste uzduha u sredini ploče kod *B* jednaka nuli, a prema krajevima joj debljina raste, kako pokazuju crte izmedju ploče i leće, pa tako imaš sve moguće debljine tanke vrste uzduha jednu uz drugu. Ujedno razbiramo, da je debljina vrste na istom krugu oko točke *B* svagdje jednaka; što je polumjer kruga veći, to je deblja vrsta uzduha. Newton je sada zaključio: Ako ove boje zaista zavise samo o debljini tanke i prozračne vrste, moralo bi ovo staklo pokazivati same bojadisane



Sl. 158. Newtonove boje.

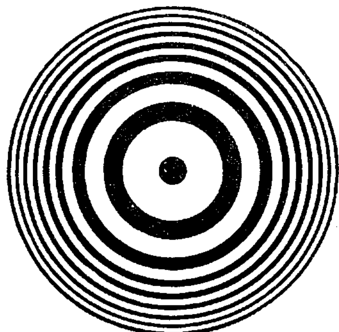
krugove oko sredine *B;* boje bi morale biti različne prema debljini uzdušne vrste. Kad je on ovakvo staklo — od onda se zove „Newtonovo staklo boja“ — gledao, doživio je veliku radost, da mu se je mišljenje potvrdilo: oko središta *B* vidio je cio niz bojadisanih krugova sve većih polumjera i različnih boja. Danas se ovaj Newtonov pokus veoma zgodno može pokazati s našom električnom lampom (Sl. 158.). Usporedne zrake lampe *A* (ili heliostata) padaju na „Newtonovo staklo boja“ *G* i odbijaju se. Uhvatiš li ih lećom sabiračom *L*, možeš na zastor *S* baciti sliku šarenih koluta. Nijesu potpuni krugovi, jer staklo nije okomito spram zrakâ lampe.

Ovaj je odlučni pokus Newtonov pokazao i dokazao, da zaista te boje postaju u svakom tankom i prozračnom tijelu (ovdje u uzduhu) i da je boja zaista zavisna o debljini te tanke vrste.

Što da mislimo o toj nama neponjatnoj činjenici? Na tanku vrstu uzduha pada bijela svjetlost. Očito se dakle iz te svjetlosti upotrebljavaju prema različnoj debljini vrste različne zrake, da izvedu boje koluta.

Činilo se već Newtonu osobito zanimljivo, da mjesto bijele svjetlosti baci na svoje staklo koju jednostavnu bojadisanu svjetlost. Za ovu se svrhu dosta čista dobije, ako se pred lampu namjesti crveno, zeleno, modro itd. staklo.

Pokazao mu se pojav, komu se nije nadao! Kad je upotrebio crveno staklo, opazio je na zastoru *S* sliku, sastavljenu od koluta naizmjence crvenih i sasvim crnih, kako pokazuje slika 159. Crveni su se koluti to više jedan drugomu priljubljivali, što im je bila veća daljina od sredine stakla. Što dalje od sredine, bili su i crveni i crni krugovi sve to uži, no ipak svagdje razbiraš veoma dobro crne kolute izmedju crvenih. Što je to? Otkuda crni krugovi?



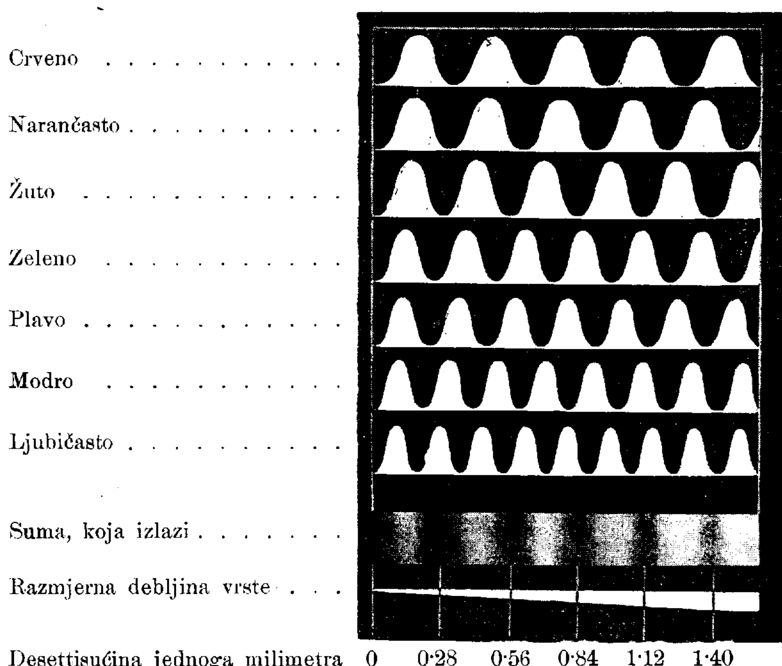
Sl. 159. Newtonovi koluti.

Mjesto crvenoga stakla upotrebio je modro. Vidio je naizmjence modre i crne krugove, no opet mala razlika spram crvenih krugova; prvi, drugi, treći . . . crveni krug bio je nešto širi od prvoga, drugoga, trećega . . . modroga kruga? Priložena slika lijepo pokazuje te razlike (Sl. 160.).

U toj slici vidiš u prvom retku širine krugova crvene svjetlosti, u drugom narančaste i tako dalje sve do ljubičaste. Od jednoga vrha bijeloga vala do drugoga je daljina od sredine do sredine dvaju zasebičnih svijetlih koluta, a od jednoga dna crnoga vala do drugoga je opet daljina od sredine jednoga crnoga koluta do bližnjega. Jasno izbija u slici različna širina svijetlih i crnih krugova. Newton je mogao izračunati na svakome mjestu, počevši od sredine svoga stakla, i debljinu tanke vrste uzduha, pak je i ta zabilježena u posljednjem retku naše slike u tisućinama jednoga milimetra. U sredini, gdje se oba stakla dotiču, debljina je tanke vrste uzduha jednaka nuli, a dalje raste, kako pokazuje slika.

Nijesu li to za nas same zagonetke, sami nada sve čudni pojavi? Bacimo na Newtonovo staklo crvenu svjetlost. Ona pada na sâma sasvim prozračna tjelesa (staklo i uzduh), koja ne upijaju

(ne apsorbiraju) ništa od bijele svjetlosti. I gle! Odbita svjetlost nije jednostavno crvena, na zastoru ne vidiš crvenu sliku rupice u lampi, nego se crvena svjetlost na nekim mjestima sasvim utrne i uništi i na tim je mjestima potpuna tama! Zelena su i modra svjetlost takodjer uništene na nekim mjestima, ali ne na istim, nego na drugim; to izvodimo iz toga, što je širina tih krugova drukčija, nego u crvenih. Sada razumijemo pače i to, zašto kod bijele svjetlosti u opće nema tamnih, crnih krugova. Na jednom se



Sl. 160. Širina Newtonovih koluta i debljina uzduha.

odredjenome mjestu izbriše na pr. crvena svjetlost, ali se na tom istom mjestu ne izbrišu zelene i modre svjetlosti, to je mjesto dakle zelenkasto modre boje; na drugom se mjestu izbrišu doduše zelene zrake, ali crvene i modre ne, to je mjesto ljubičasto.

I tako bismo mogli sve bojadisane krugove lako rastumačiti, kad bismo samo mogli odgovoriti na ovo glavno pitanje: Kako to, da se na nekim mjestima Newtonova stakla crvena svjetlost, koja na staklo pada, sasvim jednostavno uništi, pak je to mjesto sasvim crno?

Newton sam nije našao pravoga odgovora na to glavno pitanje. U isto ga je doba našao bio Huyghens na osnovi svoga mišljenja, da je i svjetlost valovito gibanje; no ugled Newtonov učinio je, da se savremena nauka nije obazirala na to mišljenje. Prošlo je sto godina, dok su Englez Thomas Young (1773. do 1829.) i navlastito Francuz Fresnel (1788.—1827.) našli nove pojave svjetlosti, koji su Huyghensovo mišljenje potvrdili.

Uočimo i mi iz bližega ovaj svakako bar zanimljivi pojav. Na čitavo Newtonovo staklo pada okomito na nj crvena svjetlost i odbija se opet okomito od njega, pa dolazi tako na zastor, gdje se takodjer vidi crvena svjetlost. No mi znamo, da se od prednjega stakla ne odbija sva crvena svjetlost: dio nje ulazi okomitim smjerom u staklo i u tanku vrstu uzduha, pak tako napokon dodje i do drugoga stakla. Ovaj se dio crvene svjetlosti odbija tek na drugom staklu i dolazi tek od onuda na zastor. Ali ako pravo uzmemo, ni ova svjetlost, što se odbija na stražnjem staklu, ne dolazi sva na naš zastor, jer tek jedan dio nje prolazi kroz prednje staklo na zastor, a drugi se dio ponovno odbija od prednjega stakla natrag kroz tanku vrstu uzduha na stražnje staklo; tu se od njega opet odbija i ide po drugi put kroz tanku vrstu uzduha na prednje staklo i kroza nj na zastor. Svjetlost dakle crvena, što ju vidiš na bilo kojem mjestu zastora, ne potječe dakle od jedne odbite zrake, nego za pravo od čitava niza zrakâ, koje su nakon ponovna odbijanja napokon iz stakla izašle i istim smjerom idu na zastor.

Ovo zajedničko djelovanje odbitih zraka svjetlosti izvodi na jednim mjestima zastora svjetlost, a na drugim mjestima pak potpunu tminu. Taj važni zaključak izlazi neposredno iz Newtonova pokusa. Pitanje je sada: Što može da bude svjetlost, što mu je prava bit njegova, kad evo vidimo, da dvije zrake svjetlosti mogu ići istim putem, pak se posvema unište?

I tu nam evo puca pred duševnim okom našim misao, da mi take pojave već poznajemo kod valova na vodi i kod zvučnih valova. Kada god se ukrštavaju dva vala, koji dolaze od dvaju izvora vala, mogu se, kako znamo, valovi ili pojačati, ili se pak mogu i sasvim uništiti. O ukrštavanju valova pak raspravili smo sve, što treba, već kod našega izleta u područje vidljivih valova na vodi (isp. str. 40.), pak ovdje možemo samo ponoviti posljedak onih razmatranja.

Dva se valovita gibanja jednakoga zamaha potpuno unište, ako imaju razliku putova od pô vala, a ujačaju se, ako nemaju nikakve razlike puta.

U tom zakonu imamo oštro oružje u ruci, po kojem ćemo moći odlučiti, je li svjetlost zaista valovito gibanje etera. Prije svega gube Newtonovi naizmjence crveni i crni koluti pred duševnim okom našim smjesta svu svoju tajnu. Gdje je crven kolut, tamo se očito ukrštavaju dva vala, koji nemaju nikakve razlike puta (ili pak, što izadje na isto: razliku puta od dva, četiri, šest itd. poluvala), a svagdje, gdje je crn kolut, tamo se ukrštavaju dva vala, koji imaju razliku putova od pô vala (ili, što napokon izlazi na isto: razliku puta od tri, pet, sedam itd. polovina vala).

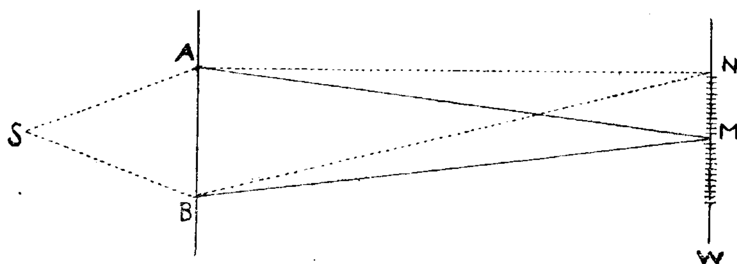
No mi smo sada spremni, da izmislimo nove pokuse, koji će nam nedvoumno pokazati, vrijedi li što Huyghensovo mišljenje, da je svjetlost valovito gibanje. Mi treba tek da uzmemo dva izvora svjetlosti jednake jakosti (to bi značilo, da su zamasi [amplitude] valova jednaki), pak da svjetlosti njihove bacimo na istu plohu, tako da dobijemo razlike putova. Ako je misao Huyghensova prava, morali bismo vidjeti posljedak ukrštavanja valova svjetlosti onako, kako nam ga već pokazaše Newtonovi koluti: naizmjence bi se morala vidjeti svijetla i tamna mjesta. Ali se pokazala neprilika: nikada se ne mogu dobiti razlike putova i ukrštavanja, ako se upotrebe dva različna neovisna izvora svjetlosti; svi su se pokusi te ruke izjalovili. Treba da su oba izvora svjetlosti zavisna jedan o drugom, a to ćeš najlakše postići, ako uzmeš jedan izvor svjetlosti, pak od njega s pomoću odbijanja ili lomljenja svjetlosti ili pak drugim kojim načinom načiniš dva izvora, koji su onda dakako zavisna o onom prvom. Uzroku se je napokon lako domisliti. Ako upotrebiš dva nezavisna izvora svjetlosti, ne ćeš ih nikada moći tako udesiti, da imaju valovi točno jednake jakosti i navlastito svagda jednake razlike putova; kod dva zavisna izvora svjetlosti to je pak lako načiniti.

Ipak je prošlo od Newtonovih vremena više od 100 godina, dok je Thomas Young, jedan od najumnijih fizičara 18. stoljeća, uspio u tom, da sastavi pokus prema ovim načelima. Vrijedno je, da ovdje njegov klasični pokus opišemo. S pomoću leće sabirače načinio si je Young najprije svijetlu točku Sunca u S (Sl. 161.), a iz nje je pustio svjetlost kroz dvije male rupice A i B u crnu zastoru u prostor iza njega. Obje su mu svijetle rupice bile dva izvora svjet-

losti, iz kojih bi se prema mišljenju Huyghensovu širili valovi svjetlosti u prostoru iza zastora *AB*, i ti bi se valovi ukrštavali (interferirali). Na drugom zastoru *W* vidio je zaista bojadisane ravne pruge, koje su vodoravno išle, kad su rupice *A* i *B* bile jedna iznad druge. Kad bi mjesto bijele svjetlosti upotrebio bojadisanu (s pomoću bojadisanih stakala), vidio bi naizmjence svijetle i tamne (crne) pruge. To su glasovite „pruge interferencije", koje nam odlučno dokazuju, da je svjetlost zaista valovito gibanje.

Evo, kako postaju te usporedne pruge interferencije, naizmjence svijetle i crne!

U sredini naše slike kod *M* je svijetla pruga. Zašto? Tamo se sastaju zrake *AM* i *BM*. Budući da su jednake dužine, na njima je svakako i isti broj valova svjetlosti, na pr. njih 1000. Podješ li od sredine *M* dalje gore ili dolje, na pr. k točki *N*, vidiš, da se

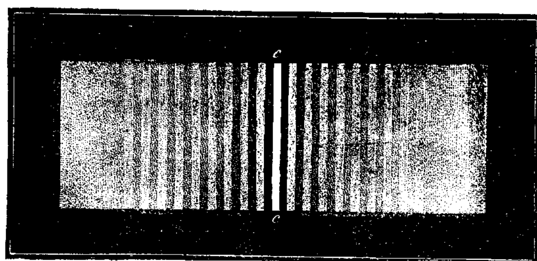


Sl. 161. Youngov pokus.

tamo sastaju zrake svjetlosti *BN* i *AN*. Na prvoj je zraci svakako više valova svjetlosti nego na drugoj; kad dodju ta dva vala u *N*, imaju dakle za stalno neku razliku puta. U sredini *M* bila je razlika putova jednaka nuli, a kako ideš od sredine gore i dolje, postaje ta razlika putova sve veća. Ondje, gdje ona dosegne baš jednu polovinu vala, t. j. gdje na jednu zraku dolazi na pr. 1000 valova svjetlosti, a na drugu $1000^1/_2$ vala, uništit će se oba vala, i na tome mjestu vidjet ćemo prvu crnu prugu iznad i ispod sredine *M*. Ideš li još dalje na zastoru *W*, uvećava se i razlika putova sve više, pak će napokon doseći dvije polovine vala t. j. dok je na jednoj zraci na pr. 1000 čitavih valova svjetlosti, bit će ih na drugoj 1001, a to je toliko, kao da oba vala nemaju nikakve razlike puta. Na tom će se mjestu gore i dolje od središta pokazati po jedna svijetla pruga, kao u sredini *M*. Idući još dalje od sre-

dine *M*, naći ćemo mjesto, gdje će razlika puta biti 3 polovine vala, t. j. dok je na jednoj zraci na pr. 1000 valova svjetlosti, na drugoj ih je 1001½ vala, a to je napokon isto, kao da je razlika puta jedna polovina vala; na tom mjestu gore i dolje od sredine *M* vidjet ćemo opet po jednu crnu prugu. Ovako će se i dalje izmjenjivati svijetle i crne pruge (Sl. 162.). One sve postaju ukrštavanjem valova svjetlosti, a činjenica, da su ih Thomas Young i nešto poslije njega Fresnel zaista pokusom mogli izvesti, odlučan je i vanredno jak dokaz tomu, da je svjetlost zaista valovito gibanje.

No ako se na osnovu ovoga i sličnih pokusa zaista može uzeti dokazanim, da je svjetlost valovito gibanje etera, navaljuje na nas sva sila novih pitanja. Kod svakoga valovitoga gibanja nadjosmo, da val, sastavljen od brijega i dola (kod vode), ili od zgusnute i ra-



Sl. 162. Pruge interferencije (ukrštavanja).

stanjene vrste (kod zvučnih valova) ima stalnu dužinu. Kolika je dužina jednoga vala svjetlosti? Kod vode je bilo lako tu dužinu od vrha jednoga brijega do drugoga izmjeriti; bila je poprijeko na moru do tri metra, ali već na vodi opazismo, da ima kraćih i dužih valova. Kod nevidljivih zvučnih valova, koji od izvora tona idu pravilno jedan za drugim kroz uzduh, bilo je već nešto teže odrediti dužine valova. No ipak smo i u tom uspjeli, pa smo na pr. našli, da su valovi tona od 440 titraja u sekundi dugački od prilike 75 centimetara.

Naš nas je izlet u područje tonova još mnogo dalje odveo! Dužine valova od različnih tonova nisu jednake, a uho naše je od prirode pače tako udešeno, da kraće valove osjeti kao više, a duže valove kao niže tonove. Svima su jamačno na umu pitanja: Ako je svjetlost zaista valovito gibanje etera, kolika je dužina tim

valovima svjetlosti? Daju li svi izvori svjetlosti: crveni, žuti, zeleni, bijeli itd. valove jednake dužine? Ako pak ne daju, je li naše oko od prirode tako udešeno, da osjeti te razlike u dužini valova svjetlosti?

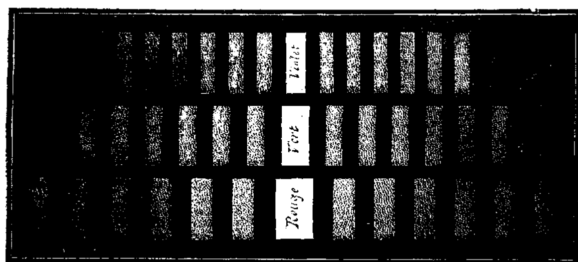
Tu se primakosmo za nestručnjake najčudnijim izvodima iz mišljenja, da je svjetlost valovito gibanje etera, pak nam se je kod njih osobito zaustaviti, kako bi se naši čitatelji i sami bar donekle uvjerili, da su ti izvodi pravi.

Kako su dugački valovi svjetlosti? Klasični pokus Youngov, opisan čas prije, neposredno odgovara na to pitanje. Pogledajte samo ponovno našu sliku 161. i uzmite, da ste prvu crnu prugu vidjeli u točki N na zastoru W. Vi znate, da zrake svjetlosti BN i AN moraju imati razliku puta, koja je baš točno jednaka polovini jednoga vala, jer se inače one ne bi bile uništile. No ta razlika putova očito je jednaka razlici njihovih dužina BN i AN. Treba dakle točno izmjeriti dužine obiju zraka BN i AN, i onda izračunati njihovu razliku — a to baš nije pretežak posao — pak si tijem dobio polovinu od dužine jednoga vala svjetlosti, a iz toga izlazi lako i čitava dužina vala. Fresnel je bio prvi čovjek, koji je na osnovi pokusa, slična Youngovu pokusu, po ovom načinu izmjerio dužinu vala crvene svjetlosti i za tu dužinu našao broj 0·00076 milimetara t. j. 770 milijuntina jednoga milimetra! Valovi su crvene svjetlosti prema tomu vanredno kratki: na jedan centimetar mogli bismo ih 12.000 položiti jedan uz drugi! Isporedite s tim dužinu zvučnoga vala kod najvišega fićuka, koja je 1·5 centimetara, pak vidite, da je jedan taki val još uvijek 18.000 puta duži od vala crvene svjetlosti. A ipak ne može biti ni najmanje sumnje o ispravnosti našega mjerenja!

To su zaista sićušni valići. Kako da uočimo bolje tako malene dužine? Uzmimo tanku iglu. Neka bude samo $^1/_4$ milimetra debela, to je već najtanja igla. Pa ipak je ona još uvijek 357 puta deblja od vala crvene svjetlosti! Još je tanja vlas čovjeka. Uzmimo, da je samo jedan stotak milimetra široka, t. j. tisuću bi takvih vlasi mogao poredjati na jednom centimetru, pak je ipak i taka vlas još uvijek 14 puta šira od vala crvene svjetlosti!

A što je s valovima drugih svjetlosti? Kad je Fresnel kod svojih pokusa mjesto crvenoga stakla upotrebio modro, opazio je na zastoru W (sl. 161.) naizmjence modre i crne pruge. No kad ih je bolje pogledao ili čak išao mjeriti, opazio je, da je daljina prvih dviju crnih pruga od sredine M kod crvene svjetlosti bila

veća, nego kod modre. Slika 163. pokazuje razmjernu širinu pruga, kad se upotrebi crvena, zelena i ljubičasta svjetlost. No mi znamo, da prva crna pruga postaje baš ondje, gdje je razlika putova obiju zraka baš jedna polovina vala. Kod modre su svjetlosti zrake tu razliku postigle prije nego kod crvene, dakle mora da su valovi modre svjetlosti nešto kraći od valova crvene svjetlosti. Ovo je znamenito otkriće bilo povod, da su po uzoru Fresnelovu išli mjeriti dužine valova za sve moguće boje spektra. To su jednostavno tako izveli, da su na pr. bijeloj svjetlosti električne lampe s pomoću solî natrija, litija, cezija i t. d. dali sasvim izvjesne boje i onda točno mjerili daljine crnih pruga od sredine za svaku vrstu svjetlosti. Ponovnim mjerenjima nadjoše ove rezultate:



Sl. 163. Pruge ukrštavanja kod crvene (rouge), zelene (vert) i ljubičaste (violet) boje.

Crvena svjetlost	(blizu	crte	*A*)	ima	dužinu	vala	0·000760	milimetra.
„	„	„	„ *B*)	„	„	„	0·000687	„
„	„	„	„ *C*)	„	„	„	0·000656	„
Žuta svjetlost	(blizu	crte	*D*)	„	„	„	0·000589	„
Zelena svjetlost	„	„	*E*)	„	„	„	0·000527	„
Plava svjetlost	„	„	*F*)	„	„	„	0·000481	„
Modra svjetlost	„	„	*G*)	„	„	„	0·000431	„
Ljubičasta svjetlost	„	„	*H*)	„	„	„	0·000393	„

Kako su valovi pojedinih boja vanredno kratki, naime veoma maleni dijelovi jednoga milimetra, nije zgodno njihove dužine pisati i izgovarati u milimetrima, jer se mora pisati mnogo cifri. Zgodnije će biti, ako se izrazuju u tisućinama milimetra. Grčko slovo μ (Mi) uvedeno je danas općeno kao kratica za jednu tisućinu milimetra, pak se mjesto „jedna tisućina milimetra“ danas općeno i govori „jedan mi“. Svjetlost kod crte *D* u spektru izvodi dakle u

eteru valove dugačke 0·589 μ (mi), najtamnija crvena svjetlost kod crte *A* ima valove dugačke 0·760 μ, skrajnjoj ljubičastoj svjetlosti (još nešto iza crte *H*) pripadaju valovi dugački 0·380 μ, a to je baš polovina od dužine vala najtamnije crvene svjetlosti. Spektar ima dakle dužine valova od 0·380 μ pak sve do 0·760 μ. Povratimo se opet na čas zvučnim valovima! I tamo nadjosmo, da je uzrok njihovu postanju u tom, što čestice zvučnoga tijela titraju. Što brže titraju, t. j. što je veći broj titraja u sekundi, to je viši izvedeni ton, to su kraći njegovi zvučni valovi u uzduhu. No izmedju titrajnoga broja tona, dužine njegovih valova i brzine rasprostiranja u uzduhu postoji jednostavan odnošaj:

$$\text{broj titraja u sekundi} = \frac{\text{brzini rasprostiranja}}{\text{dužina vala}} \quad \text{(isp. str. 85.)}$$

Dok naime čestica u izvoru zvuka izvrši jedan titraj, postao je u uzduhu oko nje jedan potpuni val. Izvrši li ta čestica u sekundi na pr. 400 titraja, načinilo se je u uzduhu oko nje 400 valova, i tih 400 valova daje baš put zvuka u toj sekundi.

Prenesimo to na svjetlost! Valovi svjetlosti, koji idu kroz eter, imaju svoj uzrok u tom, što čestice etera u svijetlom tijelu (u izvoru svjetlosti) titraju; svakomu potpunomu titraju pripada jedan potpuni val u okolišnom eteru. Dužine tih valova izmjerismo čas prije za sve boje na osnovi Fresnel-Youngovih pokusa. Brzinu svjetlosti pak odredismo već prije, da je 300000 ($= 3 \times 10^5$) kilometara u sekundi. U metrima bi to bilo 3×10^8 metara, t. j. 300 milijuna metara, u milimetrima pak 3×10^{11} milimetara t. j. 300 milijarda milimetara ili napokon u mijima (μ) bilo bi to 3×10^{14} mija, t. j. 300 bilijuna mija u sekundi. Zaista strašno velik broj!

Na pitanje koliko titraja izvršuje svaka čestica etera u svijetlom tijelu, iz kojega izbija na pr. žuta svjetlost crte *D* (plamen natrija), odgovara nam sada posve jednostavan račun: Broj ću titraja te svjetlosti naći, ako brzinu svjetlosti 3×10^{14} μ razdijelim dužinom vala te svjetlosti, a to je na osnovi predjašnjega mjerenja 0·589 μ. Izvedeš li taj račun, izlazi, da žuta svjetlost natrijeva plamena izvršuje u svakoj sekundi ništa manje, nego oko 500 bilijuna titraja! Užasan broj, ako ga isporediš s tim, da najvišem tonu, što ga uho još može da čuje, pripada samo 40 tisuća titraja u sekundi. A on hoće da reče: ako kroz prostor ide žuta svjetlost natrijeva plamena, izvršuje svaka čestica etera u tom plamenu, ali i svaka čestica etera,

kroz koji se ta svjetlost rasprostire, omašan broj od 500 bilijuna titraja u svakoj sekundi!

Ako izvedeš ovaj račun za krajnje boje sunčanoga spektra, nalaziš, da skrajnja crvena svjetlost spektra izvršuje oko 400 bilijuna titraja u sekundi, a skrajnja ljubičasta oko 800 bilijuna. Crvena svjetlost spektra izvršuje 400—470, narančasta 470—520, žuta 520—590, zelena 590—650, plava 650—700, modra 700—760, a ljubičasta napokon 760—800 bilijuna titraja u svakoj sekundi.

Ako nestručnjaku jednostavno izadješ s tvrdnjom: nauka je našla one užasno malene dužine valova svjetlosti i ove ogromne brojeve titranja, razumije se, da mora kimati glavom kao Toma, koji pravo ne vjeruje. Baš poradi toga ušli smo u ova istraživanja nauke nešto dublje. Nadamo se, da će svaki, koji je ovo razlaganje pomno pročitao, i sâm vidjeti, kako su ovi rezultati mjerenja pouzdani — on će biti bar donekle i sâm dionik užitka, što su ga imali ispitači prirode, kad su slavili triumfe u području ovih najsitnijih mjerenja — tako sitnih, da je trebalo dužinu jednoga milimetra razdijeliti na 1000 jednakih dijelova, kako bismo dobili jedinicu dužine, koja bi tim sitnim veličinama svjetlosti pristajala.

I sada nam opet udara u oči velika analogija izmedju zvuka i svjetlosti. Uho je naše tako gradjeno, da osjeća najmanje 16, a najviše 40.000 titraja u sekundi kao zvuk; oko je naše pak tako gradjeno, da osjeća najmanje 400, a najviša 800 bilijuna titraja u sekundi kao svjetlost. Različne titrajne brojeve osjeća uho kao tonove različne visine. Visina je tona naime odredjena brojem titraja u svakoj sekundi. Što je za uho visina tona, to je za oko po našoj teoriji undulacije boja svjetlosti. Razlike u titrajnim brojevima svjetlosti osjeća naše oko kao različne boje.

Nikada ne će nitko vidjeti valova svjetlosti, baš kao što ne će vidjeti ni zvučnih valova, no ipak smo uspjeli, da izmjerimo dužine jednih i drugih, pak i titrajne brojeve jednih i drugih. Jedni i drugi nam se odaju tek po svom djelovanju na dva naša osjetila. 440 titraja u sekundi osjeća naše uho kao ton *a*, a 500 bilijuna valova svjetlosti mora u svakoj sekundi ulaziti u oko i udariti o mrežnicu u njem, da u našoj duši izvede osjećaj žute svjetlosti natrijeva plamena: 800 bilijuna pak valova eterskih mora da udara u svakoj sekundi na mrežnicu, ako hoćemo da osjetimo ljubičastu svjetlost. Iz toga izlazi, da možemo svaku jednostavnu svjetlost spektra na dva

*

načina definirati: ili po osjetu boje, što ga u oku izvodi ili — točnije — po broju titraja i (što napokon izadje na isto) po dužini njezina vala. Kao što smo u akustici govorili o visoku ili nisku tonu prema osjetu uha ili pak točnije o tonu od 440 titraja u sekundi, tako i ovdje govorimo na pr. o žutoj svjetlosti natrijeva plamena, a točnije o svjetlosti od 500 bilijuna titraja ili takodjer o svjetlosti od dužine vala 0·589 μ (mi). Pa kao što uho ne može da razaznaje ton s 440 titraja od tona s 442 titraja u sekundi, tako ni oko naše ne može da razazna dvije svjetlosti s malom razlikom titrajnih brojeva. Tu je razliku tek nauka umjela izmjeriti, rastavivši najprije bijelu svjetlost u jednostavne boje spektra i izmjerivši onda za svaku svjetlost u njem na osnovi Young-Fresnelovih pokusa o interferenciji svjetlosti dužine valova tih jednostavnih svjetlosti, a preko njih i titrajne brojeve. Osobito su točno izmjerili dužine valova za one jednostavne svjetlosti, koje su na mjestima tamnih Fraunhoferovih crta. Dvije spektralne crte, koje su u nekoj daljini jedna od druge, imaju svagda različnu dužinu vala i ta je dužina vala to manja, što je crta bliža ljubičastomu kraju spektra. Na pr. za natrijeve svijetle crte, koje su na mjestu dvostruke Fraunhoferove crte D_1 i D_2, dužine su vala 0·5895 μ i 0·5889 μ. Za tri vodikove crte, koje stoje na mjestima Fraunhoferovih tamnih crta *C*, *F* i jedne slabije bez imena (blizu crte *G*) dužina je vala 0·6563 μ, 0·4861 μ i 0·4340 μ.

No izmedju uha i oka postoji u osjećanju ipak velika razlika: uho osjeća u svem nekih 9 oktava tonova (16 do 40.000 titraja), oko pak samo jednu oktavu boja (400 do 800 bilijuna titraja).

Čitav je svemir, sve su šupljice svih tjelesa ispunjene tvarju — eterom — a njegove čestice titraju ovako užasnom brzinom. Od svake se zvijezde u svemiru šire na sve strane u obliku kugala fronte ovako sitnih valića brzinom svjetlosti, pa kad negdje u svemiru komadić te fronte udari o oko podražujući brzim svojim udarcima mrežnicu njegovu, u tom se oku budi osjećaj — svjetlosti. Ali kroz svemirski eter ne marširaju samo fronte valova iz jednoga izvora svjetlosti; čestice etera ne titraju samo od jedne takve fronte: svaka čestica izvodi sumu svih gibanja, koja mu u isti čas stižu s različnih strana, valovi se svjetlosti u beskrajnom oceanu etera ukrštavaju na sve moguće načine, no fronte idu dalje, kao da nije drugih fronta, baš kao što manji valovi na vodi teku neoslabljeni dalje preko hrpta

velikih: svaka se zvijezda odaje svojom svjetlošću, kao da ona sama šalje fronte svojih valova u daleki svemir. Ako se na jednom mjestu i uništę, na drugom se ujačavaju.

2.

Dopplerov princip (1842.). Boje na mjehurima sapunice lijepu nam pripovijest ispripovjediše! Dovedoše nas u sasvim nov kraj u carstvu svjetlosti. Otkrismo sasvim nove pojave svjetlosti, koji nam se najprije baš odadoše lijepim bojama na mjehurima sapunice, a onda svijetlim i crnim kolutima Newtonova stakla, pa svijetlim i crnim ravnim prugama Young-Fresnelovih pokusa. Neznatne crte i svijetle „pruge interferencije," za „praktična" čovjeka dakako ni toliko vrijedne, da bi oko bacio na njih, odadoše nam nesumnjivu potvrdu, da je svjetlost po svojoj biti valovito gibanje poput zvuka i valova na vodi: ali sredstvo, u kojem se rasprostiru ti valovi, niti je uzduh, niti je voda, niti može da bude ikoja, pa ni najtanja nama poznata tvar, nego je to svemirski eter — tvar spram svih poznatih neizmjerno tanka i elastična, koja nam se tek u valovima svjetlosti odala, da u opće postoji. Još nam i više rekoše one neznatne svijetle i crne pruge interferencije! Razmjerno jednostavnim izmjerivanjem njihovim saznadosmo za dužine tih valova svjetlosti i za titrajne brojeve etera u različnim vrstama svjetlosti. Najduži su valovi svjetlosti, što ju oko naše još može da vidi, valovi skrajnje crvene svjetlosti u spektru; dužina im je 0·810 μ; najkraći su pak valovi skrajnje ljubičaste svjetlosti na drugom kraju spektra, dužina im je za dobru polovinu manja, naime 0·360 μ. Za mjerenje tako malenih dužina ne dostaje ni milimetar, ta najmanja dužina praktičnoga života. Postala je potreba, da se uvede još puno manja jedinica za mjerenje tih kratkih valića, a to je je „jedna tisućina milimetra" ili „mi" (μ).

Iz izmjerene dužine valova i poznate brzine svjetlosti izadjoše najobičnijim računom i titrajni brojevi za sve različne vrste svjetlosti od najtamnije crvene pak sve do skrajnje ljubičaste. Užasno veliki brojevi, koji se kreću samo u stotinama bilijuna, dakle u području brojeva, kojih gotovo ne možemo pravo da uočimo. Pa ipak smijemo reći, da ti brojevi idu u red naših najpouzdanijih brojeva odredjenih najtočnijim mjerenjem. Nije li to sjajan triumf ljudskoga uma, kad on zna mjeriti valove, dugačke jedva polovinu jednoga mija, kad zna brojiti stotine milijuna titraja eterskih čestica — etera,

kojega jamačno nikada ne će dohvatiti svojim nesavršenim osjetilima. I sve nam to odadoše one svijetle i crne crte interferencije! Dva nam se pitanja nameću: Ako se eterski valovi svjetlosti kraj tolikih izvora svjetlosti svagdje u svemiru ukrštavaju, zašto mi ne vidimo mnogo češće takve pojave interferencije svjetlosti? Tko bolje pogleda našu sliku 161., razabrat će sada i tomu uzrok, kad zna, kako su sitni ti valići svjetlosti. U prvom su redu tomu uzrokom sami izvori svjetlosti, koji gotovo nikada nisu svijetle točke, nego su sastavljene od nebrojenih svijetlih čestica, a osim toga ne izbijaju iz njih gotovo nikada samo zrake jedne vrste, nego su te zrake gotovo svagda zamršene naravi, a i tjelesa, s kojima hvatamo, imaju spram sitnih valića svjetlosti preogromne dimenzije. Da kraj sve te sitnosti valova svjetlosti vidimo dosta rastavljene svijetle i crne pruge interferencije, treba da su ispunjeni osobiti uvjeti, koji se na prvi mah razbiru iz naše slike 161. Želimo li, da bude tamo prva crna pruga *N* toliko daleko od svijetle pruge *M* u sredini, da ih točno razbiramo i njihovu daljinu mjeriti možemo, mora da bude razlika obiju zraka *BN* i *AN* samo v e o m a m a l o v e ć a od razlike obiju zraka *BM* i *AM*, a to ćeš očito samo onda postići, ako su 1. obje rupice *A* i *B* veoma blizu jedna kraj druge, i 2. ako je zastor *W* veoma daleko od rupica. Treba dakle pokuse osobito zgodno rasporediti, da se jave pojavi interferencije, jer su inače obje vrste pruga tako blizu jedne drugima, da se smiješaju, pak ih oko ne razbira.

Drugo bi pitanje bilo: A zašto čestice etera u natriju, kad svijetli, izvršuju baš 500 bilijuna titraja, a u drugom kemijskom počelu drugi broj njih, pak mi taj drugi broj titraja vidimo po tom, što je ta svjetlost na drugom mjestu spektra? Na to pitanje današnja nauka još ne zna odgovora! Bit će, da titranje etera u različnim kemijskim počelima zavisi o svojstvima i o veličini njihovih najmanjih čestica — atoma, pak će biti jedna od glavnih zadaća nauke, da razvije mišljenja o gradji tih atoma, koja bi bila podobna, da nam rastumače, zašto se spektralne crte njihovih svjetlosti baš onako redjaju, kako ih mi vidimo u njihovim spektrima.

Velik, možda najveći problem budućnosti za pravo pojimanje realnoga svijeta oko nas, koji bi znao nešto rasvijetliti i pojave duševnoga našega života, tad bi se riješio!

Ali nije ovdje mjesto o tom raspredati, nego nam je želja, da svratimo pažnju čitatelja na veoma zanimljiv i u najnovije vrijeme jako važan izvod iz našega novoga mišljenja o pravoj biti svjetlosti

— izvod, koji se u nauci veže uz ime tada praškoga profesora fizike Kristiana Dopplera (1803.—1853.).

Ako je naše mišljenje o svjetlosti ispravno, moramo uzeti, da svaka čestica etera u svijetlom tijelu i svaka čestica slobodnoga etera oko njega u svakoj sekundi izvršuje isti broj titraja. To nadjosmo i kod zvuka: kad koje tijelo zvuči, zatitraju čestice uzduha oko njega, pače i bubnjić našega uha u svakoj sekundi baš toliko puta, kao i čestice u izvoru zvuka. Ali mučke smo pri tom svagda uzimali, da izvor zvuka ostaje na svom mjestu. U tom će se slučaju zaista bubnjić našega uha u sekundi potresti baš toliko puta, koliko je zvučnih valova izvor zvuka u toj sekundi izveo: jedan val teče za drugim i svi imaju isti put do našega uha.

Jasno je, da će to biti drukčije, ako se izvor zvuka izmedju odlaska prvoga i drugoga zvučnoga vala nešto primaknuo slušaču: drugi val ima manji put do uha, nego prvi. Trebat će dakle i manje vremena do uha, t. j. drugi će potres bubnjića doći iza prvoga nešto prije, nego da je izvor zvuka ostao na mjestu; to će vrijeme izmedju dolaska prvoga i drugoga potresa biti očito to manje, što se brže gibao izvor zvuka k uhu. Ako se dakle izvor zvuka sveudilj približava uhu, potresti će se bubnjić u sekundi više puta, nego da je izvor ostao na svom mjestu, a kako o broju tih potresa u sekundi zavisi visina tona, možemo reći, da će ton, što ga osjećamo, biti nešto viši. Ako se pak izvor zvuka od nas udaljuje, bit će s istih razloga ton nešto niži. Tu promjenu visine tona možeš i potvrditi, ako na pr. pomno slušaš fićuk lokomotive, koja kraj tebe projuri.

Prenesimo to na svjetlost. Mjesto izvora zvuka uzmimo izvor svjetlosti negdje daleko u svemiru, na pr. zvijezdu. Usjan plinn a njoj izbija jednostavnu koju svjetlost, na pr. natrijsku s brojem titraja od 500 bilijuna. Naperimo na zvijezdu spektroskop, koji zastupa mjesto uha. Na odredjenu ćeš mjestu spektra vidjeti dvostruku žutu crtu natrijeve svjetlosti, jer na pukotinu spektroskopa u svakoj sekundi udara 500 bilijuna titraja svjetlosti. No što će biti, ako ta zvijezda nije mirna, nego se na pr. Zemlji sveudilj približava? Očito se ponavljaju predjašnji zaključci: na pukotinu će spektroskopa udarati u svakoj sekundi nešto veći broj titraja. Udaljuje li se pak zvijezda od Zemlje, umanjit će se nešto broj titraja, koji u sekundi udara na pukotinu spektroskopa. Hoće li nam spektroskop tu razliku odati? Čudotvorni taj instrument zaista nam odaje tu razliku u ti-

trajnim brojevima! U prvom slučaju, kad se zvijezda Zemlji približava, dogodit će se u spektroskopu isto, kao da je na spektroskop iz mirnoga izvora padala svjetlost s nešto većim titrajnim brojem. To nam se mora pak u spektroskopu javiti tim, da se je svijetla crta nešto malo pomakla prama ljubičastom kraju spektra, jer znamo, da svjetlost stoji to bliže ljubičastomu kraju spektra, što je veći njezin titrajni broj. Razumije se sada samo od sebe, da će se svijetla crta nešto na drugu stranu, dakle k crvenomu kraju spektra pomaknuti, ako se zvijezda od Zemlje sveudilj udaljuje. Ako se sada još izmjeri, za koliko je crta pomaknuta na jednu ili na drugu stranu od svoga pravoga mjesta, može se izračunati, za koliko se promijenio broj titraja u sekundi tim, što se zvijezda giba k Zemlji ili od nje. Znaš li pak, za koliko se je promijenoi broj titraja, lako ćeš odrediti i brzinu, kojom zvijezda leti k nama ili od nas.

Kad su godine 1887. najprije u Potsdamu kraj Berlina pod upravom astrofizika Vogela s te strane išli isporedjivati fotografirane spektre nekih zvijezda sa fotografiranim spektrima zemaljskih tvari, zaista se pokazalo, da su spektralne crte nekih zvijezda pomaknute na jednu ili na drugu stranu. Samo jedan primjer za to. Vogel je fotografirao spektar Aldebarana, zvijezde prvoga reda u Biku. U njem je cio niz tamnih crta. Uza nj je u istom spektroskopu fotografirao spektar svijetlih crta željeza. Odmah mu je udarilo u oči, da svakoj svijetloj crti željeza pripada po jedna tamna crta u spektru Aldebarana, ali te su sve bile nešto malo na stranu pomaknute i to k crvenom kraju spektra — znak, da se Aldebaran od nas odmiče. Izmjerivši za koliko su crte pomaknute, izveo je računom, da se Aldebaran od Zemlje udaljuje brzinom od 75 kilometara u sekundi!*

Treba li išto spomenuti o važnosti Dopplerova principa? Ta poznato je, da nam se kraj užasne daljine nekretnica od nas ni na koji drugi način ne odaje njihovo gibanje k Zemlji ili od nje. S pomoću ove metode — „spektrografija“ ju nauka zove — koja se danas na čitavom nizu velikih zvjezdarnica upotrebljava za istraživanje svemira, raširit će se naše znanje o svijetu nekretnica tečajem dvadesetoga stoljeća u velikoj mjeri.

Da spomenemo neke dosadanje rezultate tih istraživanja. U spektru zvijezde Algola (β Persei) mijenjaju crte neprestano

* Isporedi moju knjigu „Naše nebo“ str. 413.—416.

svoje mjesto i to tako, da za tri dana idu na jednu i na drugu stranu, tamo i amo. Što to znači? Drukčije toga ne možemo rastumačiti, nego da nam se ta zvijezda čas približava, čas se opet od nas udaljuje, a to se opet može razumjeti, ako uzmemo, da se giba po krugu, koji mi gledamo sa strane, i da taj svoj krug svagda opisuje za tri dana. Po tom, za koliko joj se crte u spektru pomiču, možemo odrediti i brzinu toga gibanja po krugu, a po njoj opet, kolik je polumjer i opseg kruga, makar da ni najveći durbini poradi prevelike daljine te zvijezde od nas ne mogu ništa da pokazuju o tom gibanju.

No poznati nam prirodni zakoni kazuju, da se ni jedno tijelo ne može da giba po kružnici, ako nema sile, koja ga sveudilj vuče k središtu toga kruga, dakle i u našem slučaju mora da postoji tamo u središtu kruga tijelo, koje Algola privlači. No to tijelo mora da je tamno, jer bi inače dalo spektar, u kojem bi se crte drukčije pomicale nego u Algola. I zaista već davno znamo, da Algol mijenja svoj sjaj svaka tri dana. Prema tomu se danas općeno uzima, da to tamno tijelo svaka tri dana jedan put stoji ispred Algola, pak ga tim djelomice zastre našemu oku: nauka veli, Algol je dvostruka zvijezda, ali mu je pratilac taman.*

Ovako su do danas već cio niz dvostrukih zvijezda otkrili, kojih durbin nikada ne bi bio mogao odati. Kod nekih su nekretnica opazili, da se crte udvostruče, da se do neke granice razmiču i onda opet primiču, dok napokon udvostručenja posvema nestane, onda opet postaje i tako ide sveudilj. Tumačenje je na dlanu. Spektar nam odaje, da je pred nama dvostruka zvijezda, kojoj su oba dijela svijetla tjelesa, pak idu oko zajedničkoga središta. Kad jedno ide k nama, odlazi drugo, pak se crte u spektru moraju pomicati na suprotnu stranu.

Ovako evo nauka rješava danas pitanja o gibanju i svojstvima nebeskih tjelesa, koja su od nas tako daleko, da im daljine ne možemo ni izmjeriti, tjelesâ, od kojih svjetlost do nas treba za stalno sto i više godina! A sve to rješava na osnovi našega znanja, da je svjetlost valovito gibanje u etru. Pobliže prilike tih valova svjetlosti i brzinu titraja eterskih čestica odale su nam pak one neznatne svijetle i crne pruge interferencije, što su ih vidjeli Young i Fresnel, pa svijetli i crni kruzi, što ih je Newton prvi vidio na svom

* Isporedi „Naše nebo" str. 406.—407.

staklu. Do tih krugova pak došao je on, kad se je — po sudu ljudih — „igrao“ mjehura sapunice!

Nisu li čudni putovi ljudskoga umovanja? Nisu li veličanstveni rezultati toga umovanja? Jedan od najsjajnijih listova iz te ponosne knjige čovjekova rada pokušali smo da u ovom člančiću pročitamo. Nadamo se, da će svaki čitalac osjetiti dijelak ovoga triumfa i u njem uživati, pak ne će piscu ove knjige zamjeriti, što ga je odveo — gdjekada i oteškom stazom — u ovaj novi, lijepi kraj u — carstvu svjetlosti. Zaista nam je neočekivane vidike i izvode donio ovaj izlet, pak je i pravo, da im se punom dušom radujemo.

3.

Skretanje svjetlosti. Kad je Newton čuo za Huyghensovo mišljenje, da bi svjetlost mogla biti valovito gibanje, prigovorio je tomu mišljenju, da ne može biti pravo, jer u tom slučaju da ne bi tjelesa mogla bacati — sjene. Komu ne pada na pamet lijepa pripovijest Chamissova o čovjeku bez sjene i njegovim neprilikama? Nije li ovaj prigovor podoban, da nam poruši svu ponosnu zgradu lijepe naše teorije undulacije, kako nam se evo pred očima razvila i dizala? A Newton se je pozivao na činjenice, koje su i nama dobro poznate od valova na vodi, a i od zvučnih valova. Kad valovi oceana udaraju o školj, dižu se doduše pred njim, odbijaju se od njega natrag, no sa rubova se pećine rasprostire valovito gibanje i u vodu iza pećine; tu voda ne ostaje mirna: val u neku ruku skreće sa svoga puta oko ruba pećine, pak ustalasa i vodu iza pećine. Pak zaista valovi se iza pećine sastavljaju i teku dalje, kao da pećine nije ni bilo. Valovi vode ne bacaju sjene. I za zvučne valove znamo, da im baš ne smetaju zapreke. Zvuk se iz svoga izvora rasprostire na sve strane, pa kada dodje do kakova ugla, skreće oko njega i rasprostire se u uzduhu iza ugla i mi čujemo zvuk sasvim dobro i iza takve stijene — a to je dokaz, da i uzduh iza stijene titra, da i po njem idu zvučni valovi. Mi smo pače našli, da tako mora da bude na osnovi drugoga principa za svako valovito gibanje (isp. stranu 26. i 27.). Ni zvučni valovi dakle ne bacaju sjene!

Svjetlost pak — to znamo iz svakidanjega iskustva — baca sjenu, ne ide dakle u prostor iza neprozračnoga tijela, ne skreće oko ugla — tako se bar čini po crnoj sjeni iza tijela. Svjetlost se rasprostire samo u pravcima, pa kad mu u put metneš crn zastor, on svjetlost posvema ustavi, iza zastora je potpuno crna sjena, svjetlost

dakle ne skreće oko uglova zastora, kako bi to činili valovi vode a i zvučni valovi.

Na oko zaista težak prigovor! Red je, da ga uklonimo, jer nam je inače sva lijepa, umna slika o svjetlosti — sasvim labava!

Prije svega pitanje: je li to puna istina, da svjetlost ne skreće oko ugla? U običnim je prilikama bez sumnje puna istina. Oko rubova zastora svjetlost za stalno ne skreće, nikakvi valovi svjetlosti ne ulaze u prostor iza zastora, zrake svjetlosti idu u pravcima kraj ruba.

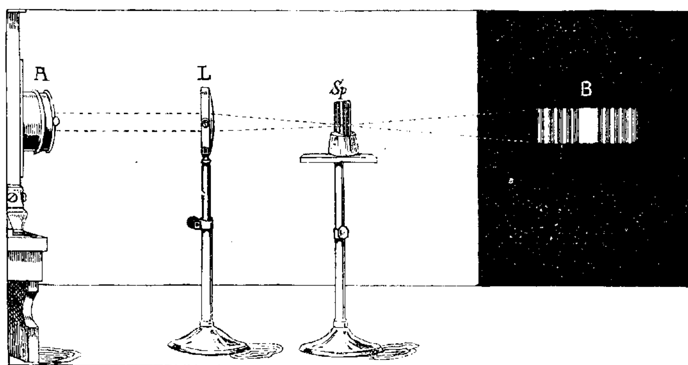
No već je god. 1665. opazio Talijan Grimaldi pojav, koji se s tim posvema ne podudara. Sunčanu je svjetlost pustio u tamnu sobu kroz veoma usku pukotinu (svijetlu crtu) i njom rasvijetlio oštar rub neprozračna zastora; rub je bio usporedan s pukotinom. Mislio je, da će iza zastora vidjeti najprije usku polusjenu i onda pravu sjenu.

No mjesto toga je Grimaldi u polusjeni i, što je još čudnije, u pravoj sjeni — u ovoj doduše ne daleko unutra — vidio naizmjence svijetlih i crnih pruga; nama su već poznate te „pruge interferencije.“ Nije bilo sumnje: u pravoj sjeni, kuda po principu pravocrtnoga rasprostiranja ne bi smjela da dospije nikakva svjetlost, pokazuju se svijetle pruge, doduše samo blizu kraju te sjene, ali ipak u njoj, svjetlost dakle skreće oko ugla. Newton je prema tomu imao pravo u tom, što je rekao, da se pojav „skretanja svjetlosti“ ili po naučnom izrazu pojav „difrakcije svjetlosti“ mora pokazivati, ako je svjetlost valovito gibanje, ali nije imao pravo u tom, što je rekao, da toga pojava kod svjetlosti nema. Svjetlost u pokusu Grimaldijevu zaista skreće bar nešto oko ugla i izvodi one naizmjence svijetle i tamne pruge.

No pojav nije ni iz daleka ono, što bismo očekivali: svjetlost skreće samo malo oko ruba, a dalje unutra potpuna je sjena: osim toga ne vidimo samo svijetle pruge, nego takodjer i tamne, dakle imamo svakako i pojav ukrštavanja (interferencije) pred sobom.

Već je Newton ponovio pokus Grimaldijev, pak je našao, da se pojav mnogo bolje vidi, ako svjetlost ne skreće oko jednoga, nego oko dva usporedna ruba, koji su blizu jedan drugomu, ako dakle svjetlost ide kroz usku pukotinu oštrih i ravnih rubova. Kako bi se pak pojav lijepo isticao, treba da bude izvor svjetlosti ili točka, ili svijetla crta, a ne svijetlo tijelo. Svijetlu ćeš točku velike jakosti najlakše dobiti, ako sunčanu svjetlost, koja u sobu

dolazi kroz heliostat, uhvatiš lećom sabiračom i sastaviš u žarištu. Svijetlu ćeš pak crtu bar približno dobiti, ako svjetlost pustiš u sobu kroz veoma usku pukotinu u heliostatu ili u električnoj lampi. Raspored pokusa i posljedak njegov pokazuje slika 164. Svjetlost izlazi iz veoma uske pukotine u lampi *A* u obliku osovno svijetle crte i pada na drugu usku pukotinu *Sp*, koja će svjetlost skretati na svojim oštrim bridovima. Obje su pukotine usporedne. Kako bi pramen bio od jednostavne svjetlosti, držimo ispred lampe crveno, pa zeleno, modro . . . staklo, a kako bi se pojav na zastoru oštro vidio, uklopimo u tečaj zraka svjetlosti još leću sabiraču *L*, koja će na zastor baciti oštru sliku pojava.



Sl. 164. Skretanje svjetlosti.

Zaista je zanimljiv pojav, što ga vidimo na zastoru. Po principu pravocrtnoga rasprostiranja svjetlosti svatko bi mislio, da će na zastoru vidjeti u sastavnici obiju pukotina oštru i svijetlu (na pr. crvenu ili modru) sliku pukotine *Sp*. Mjesto toga vidiš nešto posvema drugo. U sredini je zaista svijetli pravokutnik pukotine, no desno i lijevo od njega vidiš najprije dvije crne pruge, a onda cio niz naizmjence svijetlih i crnih pravokutnika ili pruga: svijetli pravokutnici sve su slabiji po svojoj svjetlosti, što su dalje od srednjega i najsvjetlijega.

Ako pukotinu *Sp* nešto raširiš, postaju pruge uže i dolaze bliže jedna drugoj; ako ju pak suziš, pruge su šire, razmiču se jedna od druge i rastavljaju se sve širim crnim prugama. Uzmeš li mjesto crvenoga stakla zeleno ili ljubičasto, dobit ćeš cio niz zelenih ili modrih pruga rastavljenih crnim prugama, no z e l e n e s u p r u g e

uže od crvenih i jedna je bliže drugoj, a ljubičaste su uže od zelenih i još bliže jedna drugoj. Vjerne slike tih pruga jesu slike 161. i 162.

Ako dakle pustiš iz lampe bijelu svjetlost u pukotinu *Sp*, ne pokrivaju se njezine različne boje, pak mjesto da vidiš naizmjence bijele i crne pruge, vidjet ćeš cio niz obojenih pruga jednu uz drugu — dakle cio niz spektara.

Kad gledaš ovaj niz svijetlih i tamnih ili pak bojadisanih pruga na mjestima, gdje bi morala da bude potpuna tama, baš ti jasno udara u oči, kako svjetlost zaista skreće na stranu oko jednoga i drugoga oštroga brida naše pukotine *Sp*, ali te ipak smetaju dvije stvari na tom pojavu: 1. zašto nije rasvijetljen čitav zastor, nego samo onaj razmjerno mali dio s jedne i druge strane pukotine, i 2. otkuda one crne pruge na nekim mjestima, koje su nam nesumnjiv dokaz, da ondje nema nikakve svjetlosti?

Na pukotinu našu *Sp* iz lampe dolaze jedna za drugom fronte valova i sve čestice etera u toj pukotini zatitraju posvema jednako. Svaka je od njih ishodište novomu valu, koji se sve dalje rasprostire po prostoru iza pukotine u obliku kugala, kako to ište drugi princip svakoga valovitoga gibanja — glasoviti Huyghensov princip (isp. na str. 27. sliku 14.) — i mi bismo mislili, da će titrati sav eter iza pukotine *Sp*, pak da će svagdje biti svjetlosti. Tako bi bez sumnje i bilo, da se ovi novi valovi svjetlosti, koji izlaze od eterskih čestica u pukotini ne ukrštavaju na sve moguće načine, pak se time na nekim mjestima posvema ne unište, gdje je onda dakako potpuna tama.

Sjetimo se samo valova na vodi, pak će nam i oni to mišljenje potvrditi. Svi dobro znamo, kako im se snaga gotovo sasvim lomi u dobro sagradjenoj i sigurnoj luci. I oni ulaze kroz široku pukotinu (ulaz) u luku i sve čestice vode na tom ulazu žestoko zatitraju od njih. I od njih svake izlaze po Huyghensovu principu valovi, koji se dalje šire po vodi u luci u obliku krugova; i ti valovi skreću u luku oko uglova, ali i kod njih je posljedak ukrštavanja, da se u luci ili veoma slabe ili, tamo dalje na strani, sasvim uništavaju, pak je voda u luci brodovima sigurno pristanište i kod jake bure. Što je pak za vodene valove, kojima se dužina (t. j. daljina od jednoga brijega do drugoga, mjeri na metre), široki ulaz u luku, to je za sićušne valove svjetlosti, kojima je dužina jedva jedna polovina mija, uska pukotina našega predjašnjega pokusa. I on nam je jasno pokazao, kako valovi svjetlosti skreću oko ugla, ali nam je potvrdio

i to, da se ukrštavaju i tijem na nekim mjestima sasvim unište, a nešto dalje na stranu od ruba već se sasvim unište, tamo je svagdje potpuna tama. Da su valovi svjetlosti duži, ne bi se tako brzo uništili, skrenuvši oko uglova, nego bi se i dalje širili po čitavom prostoru iza pukotine, kako to zaista čine zvučni i vodeni valovi, kada im zapreke nisu prevelike prama njihovoj dužini.

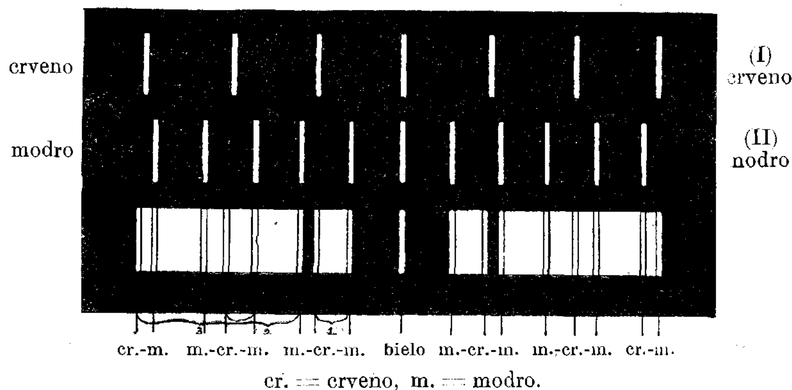
Što je dakle na oko bio ozbiljan prigovor mišljenju, da bi svjetlost bila, kao i zvuk, valovito gibanje, baš to je evo izišlo najsjajnijom potvrdom tomu mišljenju: pojavi se pače „skretanja svjetlosti" oko bridova uskih pukotina u opće ne bi mogli ni razumjeti bez toga mišljenja, oni bi umu čovjekovu i danas bili — neriješena zagonetka.

No tko bi mislio, da se ti pojavi tek ovako umjetnim načinom mogu izvesti, ljuto bi se prevario. Mi gledamo u svakidanjem životu mnogo češće, nego što bismo mislili, ovakve pojave, navlastito bojadisanu svjetlost kod skretanja bijele svjetlosti sunčane. Evo tomu tek nekoliko primjera. Prilijepi na pr. stanijola na staklenu ploču, pak izreži u njoj oštrim nožem usku pukotinu i gledaj kroz nju svjetlost svijeće. Vidjet ćeš za stalno sav plamen svijeće opkoljen svijetlim, različno bojadisanim kolutom, koji daleko seže od plamena. Tomu je kolutu uzrok u skretanju bijele svjetlosti oko bridova pukotine; tamnih crta nema, jer smo upotrebili bijelu svjetlost.

Ako oči na pola sklopiš, pak kroz obrve gledaš u svjetlost na pr. lampe na ulici, vidjet ćeš svaki plamen opkoljen bojadisanom prugom; i toj je pruzi uzrok u skretanju svjetlosti kod prolaženja kroz uske pukotine izmedju obrva. Kad kroz ptičje pero gledaš svijetao predmet, vidjet ćeš ga takodjer proširena i na krajevima obojena; uzrok je isti kao i prije. No mjesto uskih i dugih pukotina možeš svjetlost puštati i kroz sitne, okrugle ili uglaste rupice. Tim se dobivaju gdjekada veoma lijepe, ali i zamršene slike od skretanja svjetlosti, pak je za stručnjaka baš pravo uživanje, kad gleda, kako su fizičari Fresnel, Fraunhofer, Herschel, Schwerd i drugi u svakom slučaju po teoriji undulacije znali unaprijed računom odrediti, gdje mora da stoji svaka svijetla ili tamna pruga, pa kako im je onda pokus potvrdjivao u sve tančine njihove rezultate. Oko ti ne bi moglo sigurnije od računa pokazati, da postoje te pruge skretanja!

Fraunhofer je bio prvi, koji je kod svojih studija o skretanju svjetlosti upotrebio cio niz uskih, usporednih pukotina mjesto

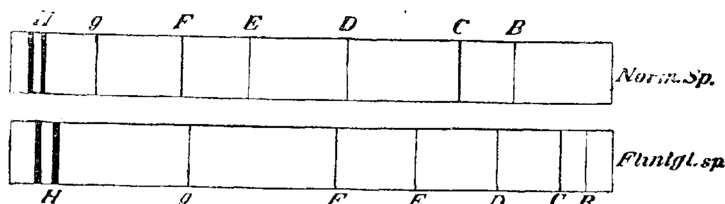
jedne, kao što ih od prilike imamo, kad gledamo kroz obrvu. Takvoj optičkoj spravi, koja sastoji od ovećega broja veoma uskih, veoma bliskih i usporednih pukotina, dajemo ime „mrežica skretanja“ (reseau, Beugungsgitter). Najjednostavnije se mrežice dobiju nizom usporednih, veoma tankih žica; druge se dobiju, ako s očadjene staklene pločice skidaš čadju u veoma bliskim usporednim pravcima. Dugo su vremena bile najbolje Nobertove mrežice, kod kojih je bio velik broj finih pravaca urezan u staklo. Nobert je znao do 400 takih pravaca urezati na jednom milimetru! Svaki pravac, urezan u staklo, bio je kao fina žica, koja svjetlost ne propušta, a izmedju dva susjedna pravca bilo je čisto staklo u obliku jako uske pukotine, koja je svjetlost propuštala. Ako se s takvom mrežicom ponovi naš



Sl. 165. Skretanje svjetlosti u Nobertovoj mrežici.

pokus o skretanju svjetlosti, izlaze pojavi još mnogo čišći i ljepši. Metneš li na pr. pred lampu crveno staklo, pak tu svjetlost pustiš na mrežicu, vidjet ćeš osim srednje crvene pruge još cio niz oštrih uskih crvenih pruga jednako razdalekih, a izmedju njih je sve tamno (Sl. 165.) (I); upotrebiš li modro staklo, vidjet ćeš cio niz modrih oštrih pruga, opet jednako razdalekih, ali ove su pruge jedna drugoj mnogo bliže (II). Što je manja dakle dužina vala upotrebljene svjetlosti, to su bliže sredini pojedine svijetle pruge. Ako dakle pustim bijelu svjetlost na mrežicu, vidjet ću prekrasan pojav: u sredini oštra bijela pruga, s jedne i druge strane po jedna široka tamna, a kraj njih na svakoj strani veoma sjajan spektar, koji, računajući od sredine, počinje ljubičastom, a završuje crvenom bojom.

Zovu ga „prvi mrežični spektar." Opet dolazi po jedna tamna uska pruga, a iza nje opet veoma sjajan drugi širi spektar, no u njem boje već nisu tako čiste, nego se donekle miješaju s bojama trećega spektra, koje ga djelomice pokrivaju. Ova se prva tri spektra veoma jasno razbiru, ostali su već veoma slabi i blijedi. Prvi je najčišći i najsjajniji, no drugi je mnogo širi. Ako pak isporediš ovaj spektar bijele svjetlosti sa spektrom iste svjetlosti, što ga daje staklen bridnjak, opazit ćeš, da se red boja doduše u oba spektra podudara, ali razdioba pojedinih boja nije jednaka: u prizmatičkom je spektru modra boja nerazmjerno rastegnuta, dok su crvena, narančasta, žuta i zelena veoma stisnute jedna uz drugu. Kod spektra mrežice pak sve su boje najednako rastegnute; poradi toga se ovaki spektar mrežica i zove „pravilan" ili „normalan" spektar. Slika 166. pokazuje spektar prizme od flint-stakla i normalan spektar jednake dužine i jedan iznad drugoga. Crveni dio spektra seže od prilike do

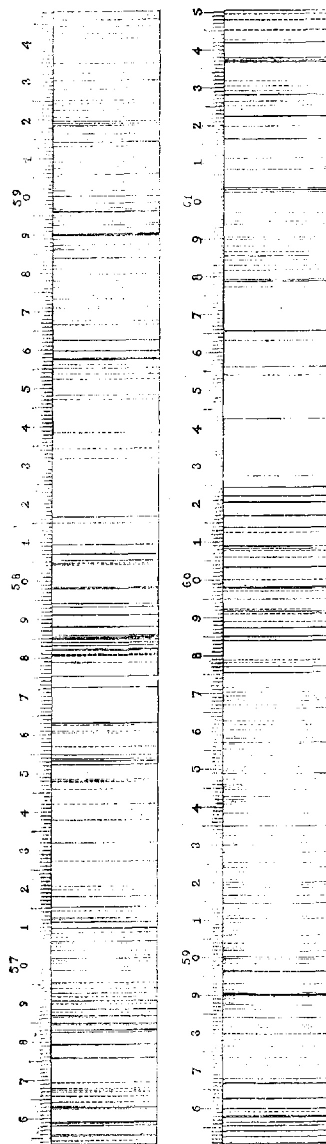


Sl. 166. Prizmatički i normalni spektar.

Fraunhoferove crte *C*, pak se vidi, da je ta boja u normalnom spektru gotovo tri puta tako široka, kao u prizmatičkom, dok je opet modri dio od crte *F* do *H* u normalnom spektru tek polovina od istoga dijela u prizmatičkom spektru.

Kod Nobertovih mreža, rezanih u staklo, prolazi svjetlost kroz staklo i ukrštava se na drugoj strani iza stakla. Prozračno staklo naime izmedju dvije susjedne urezane crte očito djeluje kao vanredno uska pukotina; iz svake njezine točke, kad baciš na nju svjetlost lampe, izlaze okrugli valovi svjetlosti i teku u prostoru iza stakla, ondje se ukrštavaju i izvode pojave skretanja, kako ih baš opisasmo. No jasno je, da se od svake točke rasvijetljene staklene pukotine mora da odbijaju valovi svjetlosti i natrag pred staklo; i ti se valovi ukrštavaju ispred stakla, baš kao i oni iza stakla i mi zaključujemo, da nam se i u ovoj odbitoj svjetlosti moraju pokazivati isti pojavi skretanja. I zaista se danas izradjuju najfinije mrežice

skretanja za odbitu svjetlost, a izradio ih je prvi profesor Rowland u Americi. Da bude odbita svjetlost što jača, a prema tomu i spektri skretanja što sjajniji, ne reže Rowland usporedne pravce u staklo, nego u savršeno brušenu kovinu. Svaka rasvijetljena točka glatke površine odbija svjetlost na sve strane, valovi se svjetlosti ispred mrežice ukrštavaju i daju spektre skretanja. Rowland je svojim savršenim strojem na fino poliranoj kovini znao do 1700 pravaca urezati na jednom jedinom milimetru i svi su ti pravci jednako razdaleki i medju sobom usporedni! Razumije se, da ih oko ne vidi, nego treba da se naoruža mikroskopom. Rowland je kovinu ujedno brusio kao ugnuto zrcalo, jer je tako i bez leća mogao da dobije na zastoru oštre slike pukotine. Ako se takva „Rowlandova mrežica" smjesti u put bijeloj svjetlosti, vide se na duvarima sobe veoma rastegnuti spektri prvoga, drugoga, a i daljih redova. Poradi toga je i svaka boja bijele svjetlosti na svome mjestu u spektru, a nema li koje boje u njem, javlja se na njezinu mjestu tamna crta. Upotrebiš li dakle sunčanu svjetlost, pokazat će se i u spektrima mrežica poznate Fraunhoferove crte, no kako su spektri dobrih mrežica veoma rastegnuti, vidjet će se i velik broj tih crta u njima bolje, nego u spektrima staklenih bridnjaka, jer su u ovima toliko stisnute jedna uz drugu, da se prosto ne vide rastavljene.



Sl. 167. Fotografija spektra.

Budući da je dužina vala, koja pripada pojedinim vrstama svjetlosti, samo zavisna o mjestu te svjetlosti u spektru, možeš i obrnuto dužinu vala odrediti mjerenjem njezina položaja u spektru. To je i uzrok, da se danas sve dužine eterskih valova svjetlosti odredjuju s pomoću veoma sjajnoga prvoga ili drugoga spektra. ovakih Rowlandovih mrežica. Pojam o tom, kako su rastegnuti ovi spektri Rowlandovih mrežica, dobit će čitatelj, ako pogleda sliku 167. Tu je po fotografiji nacrtan samo jedan dio sunčanoga spektra izmedju Fraunhoferovih crta *C* i *E*, dakle u okolini dvostruke crte *D*. Kolikog li obilja crta u tom spektru!

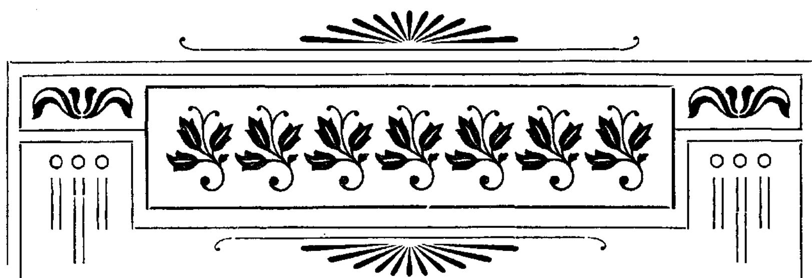
Skretanje svjetlosti u mrežicama i sjajni pojavi pri tom nije tek pojava, što ju samo fizičar može izvoditi s pomoću ovih savršenih mrežica Rowlandovih: i priroda ih i industrija gdjekada pokazuje. Boje leptirskih krilaca i paunova perja, navlastito one krasne boje, za koje ti se čini, da se prema različnom stajalištu tvome mijenjaju, osnivaju se najviše na skretanju svjetlosti u mrežicama. Pak i lijepe boje bisera idu u red boja na mrežicama: jer je i biser na površini sav iscrtan veoma finim i pravilnim crtama. Poznato je, kako industrija na toj osnovi zna umjetnim načinom taj biserov sjaj oponašati („iriziranje"). Oko Sunca i Mjeseca vidimo često bojadisane kolute; uzrok im je u skretanju svjetlosti kraj sitnih vodenih kapljica, koje lebde u uzduhu kao tanki, nevidljivi oblaci.* Ni na tom području dakle nije čovjek prirode pretekao! I ona zna izraditi još finije mrežice od Rowlandovih, i ona nam zna pokazivati krasnih pojava skretanja svjetlosti u mnogo sjajnijoj i većoj mjeri, nego što ih izvodi fizičar u svom laboratoriju. Ali i njegovi su pokusi imali i imaju još danas veliku svoju vrijednost. Ta oni su bili pitanja na prirodu, neka nam sâma razjasni svoje lijepe pojave. A posljedak svih tih pitanja? Sjajno slavlje ljudskoga uma! Mi doduše ne vidimo ni etera ni valova u njem, ali um nam naknadjuje osjetila. Duševnim okom svojim gledamo svakovrsne valove u eteru, mi ih mjerimo i znamo, kako će ti valovi djelovati, kakve će pojave svjetlosti izvoditi u svakoj prilici. Ta sve nam se pojave svjetlosti tako lijepo složiše i poredjaše u našem mišljenju, da je i svjetlost valovito gibanje, pak i ono, što se u prvi mah činilo, da se ne može s tim mišljenjem složiti, izišlo je evo na koncu kao najsjajnija potvrda njegova. Je li dakle čudo, ako od sada držimo naše mišljenje dokazanim, ako o

---

* Isporedi moju knjigu „Vrieme." Zagreb 1897. Str. 219.—234.

valovima svjetlosti i o eteru budemo govorili, kao da ih tjelesnim okom gledamo? Ta u tom i jest prava dražest prirodne nauke, da nam ona prirodu vodi u vlast duha čovjekova. Čovjek je iz tisuća pokusa ispipao osnovni zakon, koji vlada u carstvu svjetlosti i boja, pa gle sve izvode iz toga zakona može sada sigurno primijeniti na prirodu: nikada ga ona ne će izdati, nikada mu se ne će iznevjeriti. Pojavi će teći baš onako, kako on na osnovi toga zakona unaprijed odredi. Nije li to zaista veliko slavlje čovjekova uma? — On nas sokoli, da prodiremo još dalje u nepoznate krajeve našega carstva!





IX.

Nevidljiva svjetlost.

Što je nevidljiva svjetlost. — Ultracrvene zrake svjetlosti. — Ove se zrake odaju ugrijevanjem tjelesa. — Električni termometri. — Bolometar Langleyev. — Hladne crte u ultracrvenom dijelu spektra. — Kemijski učinci vidljive svjetlosti. — Fotografija. — Fluorescencija. — Ultraljubičaste zrake u sunčanoj svjetlosti. — Njihova svojstva.

Čudna li izraza! — reći će gdjekoja mojih čitateljica i po koji čitatelj. Nije li to gotovo protivurječje? Ta svjetlost je baš ono, što okom našim „vidimo"; kako bi dakle svjetlost mogla biti „nevidljiva"? Pa ipak se smije govoriti i o nevidljivoj svjetlosti t. j. o svjetlosti, koje ne vidimo našim tjelesnim okom.

Evo kako do toga dolazimo! Što je svjetlost po svem, što do sada o njoj sazmasmo? Valovito gibanje u beskrajnom oceanu etera. Sve različne vrste svjetlosti, što ih naše oko vidi, razastrte su u spektru prizme ili još bolje u spektru mrežice jedna uz drugu od najtamnije rumeni na jednoj strani do skrajnje ljubičaste na drugoj. Naš izlet u područje boja na mjehurima sapunice pokazao nam je konačno, da su dužine tih eterskih valova svjetlosti izmedju 0·820 mi i 0·380 mi; a to će reći u običnoj metričkoj mjeri izmedju 820 milijuntina jednoga milimetra i 380 milijuntina milimetra. Što mislite, je li razložno vjerovati, da svemirski eter može tek da izvodi valove u ovim granicama dužine? Sudimo li po analogiji, za stalno toga ne možemo vjerovati, pak Graetz sasvim pravo kaže, da bi naše mišljenje o postojanju svemirskoga etera bilo vrlo slabo osnovano, kad bismo uzeli, da on može samo ova sitna gibanja izvoditi, mi

bismo pače morali reći, da je naše mišljenje o eksistenciji toga etera sasvim krivo — da je to naprosto hipoteza izmišljena samo za to, da nam razjasni pojave svjetlosti. Uzmimo samo valove na vodi. Tu vidimo, da se po vodi usporedo rasprostiru valovi dugački tek nekoliko centimetara i valovi od 450 metara. U području zvuka pak nadjosmo opet, da uho naše osjeća kao zvuk sve uzdušne valove izmedju 21 metra i 8·5 mllimetara. Razložno ćemo dakle morati i za eter uzeti, da se i u njem pored ovih sitnih valića svjetlosti mogu da rasprostiru i kud i kamo duži, a možda još i kraći valovi od onih, što nam ih odaje naše oko kao svjetlost. Ti valovi dakako ne će djelovati na naše oko, mi ih ne ćemo osjetiti kao svjetlost, ali nipošto poradi toga, što eter ne bi mogao izvoditi drukčijih valova, nego samo poradi toga, što je naše oko samo za valove unutar ove uske granice osjetljivo. Ta i za uho znamo, da ne osjeća ni veoma dugačkih ni veoma kratkih valova uzdušnih, pa ipak nema sumnje, da su i to valovi baš kao i zvučni. Tako ćemo i za svaki izvor svjetlosti na pr. Sunce morati već unaprijed uzeti, da iz njega izbijaju valovi i duži i kraći od vidljivih. Ni oni više ne djeluju na naše oko, no za to su ipak pravi pravcati valovi etera, kao i oni vidljivi, i njima možemo dati ime „valovi svjetlosti“, no treba da dodamo „nevidljivi“. Zar ne bi moglo biti i takih očiju, koje vide i ove valove etera? Pak zar se valovi etera nama baš moraju odavati samo djelovanjem svojim na vidni živac? A kako bi bilo, da nam se eksistencija tih eterskih valova odaje i drugim svojim učincima? Kad bismo na pr. za te nevidljive valove svjetlosti mogli dokazati, da se odbijaju, lome, ukrštavaju baš kao i vidljivi valovi svjetlosti, ne bismo li razložno i njima dali ime „valovi svjetlosti“, premda ih ne vidimo? Ta različna dužina vala sâma ne može da opravda drugo ime. Da ih mi ne vidimo, to je tek dokaz, da je naše oko nepotpun organ.

No to su sve tek lijepe spekulacije! Ima li kakvih dokaza ili bar znakova za to, da u eteru postaju i po njem se šire valovi najrazličnijih dužina? Kad bismo ih našli, ili kad bismo ih mi sami mogli umjetnim načinom u eteru izvoditi, naše bi se znanje o prirodi dosta podiglo: svjetlost za nas ne bi više bila posebne vrste prirodna pojava, nego bi se na odredjenu mjestu harmonično uklopila u čitav niz sličnih prirodnih pojava, kojima bi svima zajednički izvor bio u valovima etera — ali valovima različne dužine.

Sama nam se dakle zadaje ova zadaća: Upitaj prirodu samu, ima li valova nevidljive svjetlosti, koji ti se odaju drukčije, nego podraživanjem vidnoga živca?

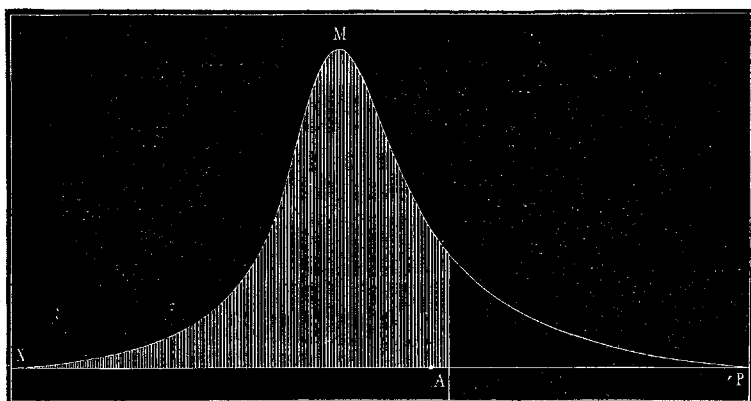
1.

Ultracrvene zrake sunčane svjetlosti. Svatko zna, da sunčana svjetlost grije tjelesa. Valovi sunčane svjetlosti ne podražuju dakle samo vidni živac, nego i živce naše kože, koji u nama izvode osjet topline. Godine 1800. došao je Sir William Herschel na sretnu misao, da rastavi sunčanu svjetlost u spektar, i da očadjenu kuglicu osjetljiva termometra vodi kroz sve boje spektra, kako bi doznao, da li sve različne vrste svjetlosti, sabrane u sunčanoj, imaju u jednakoj mjeri svojstvo ugrijevanja. Ovaj upit prirodi dao je rezultat, kojemu se nitko ne bi bio nadao. U ljubičastom i modrom dijelu termometar se gotovo ništa nije dizao. Tek u zelenoj se je boji počeo nešto malo, a u žutoj više dizati. No tek u crvenoj se je boji termometar jače dizao, i što je bliže dolazio crvenomu kraju spektra, sve jače i jače. No kad je kod Fraunhoferove crte *A* došao do kraja spektra i s termometrom još dalje pošao na zastoru s onu stranu crvene svjetlosti, dakle u nerasvijetljen prostor, opazio je, da se termometar do nekoga mjesta u tom tamnom prostoru još sveudilj diže, onda tek polako počinje padati, ali još uvijek pokazuje sve slabije ugrijevanje. Iz tih pokusa izvodimo, da ljubičasti, modri i zeleni valovi svjetlosti gotovo ništa ne griju, crveni pak griju mnogo jače od žutih i narančastih, i što bliže dolaziš kraju vidljive crvene boje, to jače griju zrake svjetlosti. No tek s onu stranu crvene boje u daljini, koja je od prilike tako velika kao daljina od crvenoga kraja vidljiva spektra do zelene boje, grijanje je najjače. Što izlazi otuda? Očito, da iz Sunca izbijaju valovi, koji griju, ali se ne vide, i da najjače griju baš oni valovi, koji su s onu stranu crvene boje. Ti valovi nevidljive svjetlosti, koji nam se odadoše svojim svojstvom ugrijevanja, dobiše ime „ultracrvena svjetlost“ i prema tomu se govori i o „ultracrvenim zrakama“.

Valovi ultracrvene svjetlosti, kojih naše oko ne vidi, mora da su duži od valova skrajnje crvene svjetlosti, za koje već znamo, da im je dužina 0·820 mi (μ) ili 820 milijuntina jednoga milimetra. Spektar bijele sunčane svjetlosti ne prestaje na crvenom kraju njegovom, on ide još mnogo dalje s onu stranu crvene boje, u eteru

se zaista bude još i drukčiji valovi, koji doduše ne podražuju vidnoga živca, ali nam se odaju tijem, što griju tjelesa. To je velika tekovina Herschelovih pokusa!

No nije jedino Sunce, iz kojega izbijaju taki nevidljivi valovi etera, dakle i tamne zrake; u spektru nam se bijele električne svjetlosti takodjer odadoše i Tyndall je pače mogao da izmjeri i snagu grijanja tih tamnih zraka električne svjetlosti, kojima i u običnom životu dajemo ime „zrake topline". Slika 168. pokazuje najbolje te prilike. U toj slici vodoravni pravac *XAP* pokazuje dužinu spektra. Na različnim su njegovim mjestima povučene okomice, koje nam svojom dužinom predočuju toplinu na ovom mjestu spektra. Krajnje su

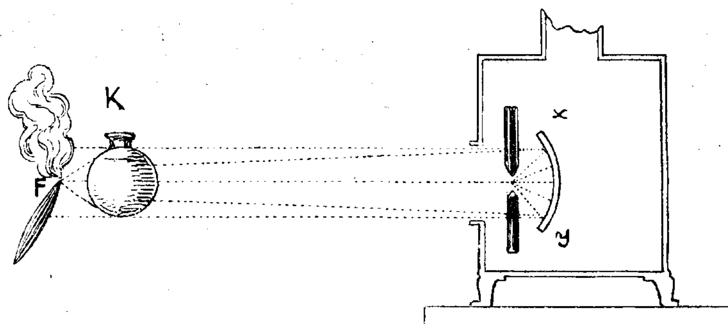


Sl. 168. Krivulja za zrake topline u spektru.

točke tih okomica sastavljene krivuljom i ta nam veoma prijegledno pokazuje, kako se porazdijelila toplina uzduž čitavoga spektra električne ugljenove svjetlosti. Vidljivi dio spektra seže od *P* do *A*; kod *P* je od prilike crta *E* sunčanoga spektra, dakle zelena boja, a kod *A* je crveni kraj vidljiva spektra. Krivulja se topline najprije veoma polako, a onda u crvenoj boji sve jače uspinje. Okomica u točki *A* pokazuje jakost topline na skrajnjoj točki vidljiva spektra (u najtamnijoj rumeni). S onu stranu crvene svjetlosti krivulja se naglo uspinje do vrška *M*, a odavde pada najprije naglo, onda polako sve do *X*, gdje se nikakvo grijanje više ne odaje.

No ako i priznajemo, da ima s onu stranu crvene svjetlosti bez sumnje zrakâ, koje griju, ipak ćemo kao oprezni ispitivači pri-

rode izaći s pitanjem, je li ono, što grije, zaista nevidljiva svjetlost, t. j. jesu li ono zbilja valovi etera poput valova svjetlosti, samo toliko duži od njih, da više ne djeluju na naše oko? A ako su to zaista valovi u eteru, kolika im je dužina? Na jedno i na drugo pitanje možemo danas odgovoriti, hvala istraživanjima Mellonija, Drapera, Müllera, Langleya, Rubensa i drugih. Ovaj je naime nevidljivi dio spektra ponovno bio predmet istraživanja stručnjaka, koji su u prvom redu nastojali oko toga, kako bi termometar naknadili drugim spravama, koje su na toplinu mnogo osjetljivije. Nije ovdje mjesto, da se upuštamo u opisivanje tih novih osjetljivih termometara, tek ćemo ovdje spomenuti, da Mellonijev „termomultiplikator“ mjeri već tisućine, a Langleyev „bolometar“ čak i milijuntine jednoga stupnja Celsijeva termometra, dok termometar



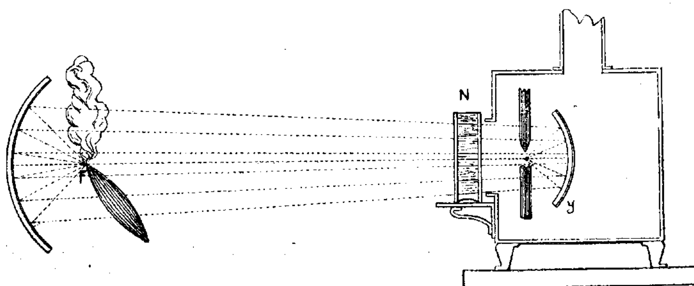
Sl. 169. Zrake topline se lome.

jedva ide dalje od desetine stupnja! Navlastito je Langley sa svojim bolometrom 20 godina posvetio studiju ultracrvenoga spektra, pak je mogao dokazati, da ima valova topline, kojima je dužina vala 5 mi, a Rubens ih je našao u najnovije vrijeme dugačkih i 50 mi ili $^1/_{20}$ milimetra!

Zasluga je profesora Tyndalla, da je izumio čitav niz lijepih pokusa, kojima se može nedvoumno dokazati, da su te zrake topline zaista isto, što i zrake svjetlosti, naime valovi etera. I zrake se topline odbijaju, lome, rastavljaju u spektar i skreću oko uglova baš kao i zrake svjetlosti, imaju dakle sva svojstva valova svjetlosti osim onoga jednoga — da podražuju vidni živac — one su nevidljive. Nekoliko tih pokusa treba da spomenemo.

Mi poznajemo prozračnih bojadisanih tvari (spominjem pločice stakla i želatine), koje od bijele svjetlosti propuštaju samo odredjenu

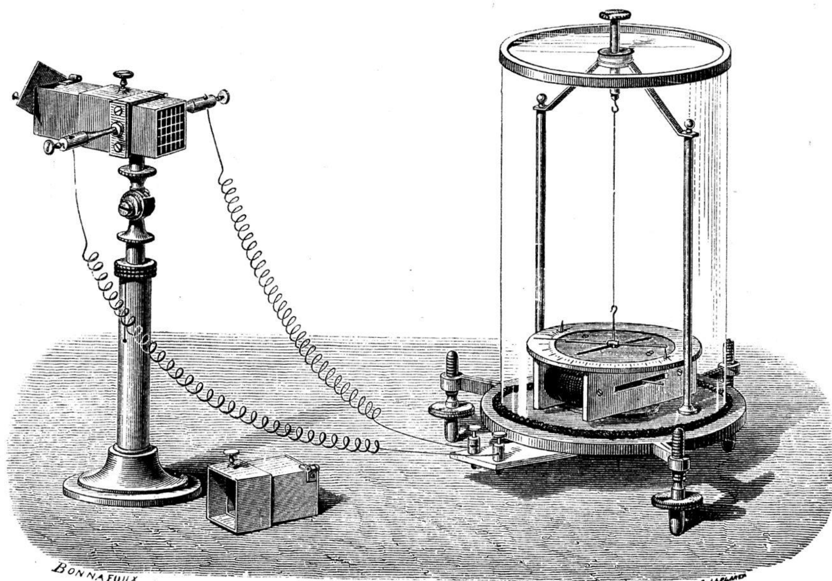
boju na pr. crvenu, ili modru, a sve druge boje apsorbiraju (upijaju). Prema tomu možemo s mjesta zaključiti, da bi moglo biti i takvih tvari, koje apsorbiraju sve valove vidljive svjetlosti, a propuštaju samo ultracrvene valove i zrake nevidljive svjetlosti — zrake topline. Take su tvari za naše oko posvema crne baš poradi toga, što apsorbiraju sve vidljive boje. I zaista su našli takvu tvar. To je zasićena rastopina joda u sumporovu vodiku. Sasvim je crna; ni od najjačega izvora svjetlosti ne prepušta ma ni jedne zrake; ona je za vidljive valove svjetlosti sasvim neprozračna, ali nevidljive ultracrvene zrake propušta, za njih je sasvim prozračna. Ako pak bocu K (sl. 169.) napuniš tom rastopinom joda, pak na nju baciš pramen bijele svjetlosti iz električne lampe, u kojoj je iza ugljena namješteno srebrno ugnuto zrcalo, djeluje boca K na zrake svjet-



Sl. 170. Nevidljivi se valovi svjetlosti odbijaju.

losti kao leća, pak ih lomljenjem sabire u zarište F. No uzalud ćeš u toj točki tražiti reelnu svijetlu sličicu tvoga izvora svjetlosti: točka je F potpuno tamna, jer je jod apsorbirao sve valove vidljive svjetlosti. No metneš li u F žigicu, planut će smjesta; puščani će se prah zapaliti i prasnut će, a cigara će se ondje sama zapaliti u uzduhu! Nevidljive se dakle zrake topline lome u leći. Da se one i odbijaju, baš kao i valovi svjetlosti, i to možemo lijepo pokazati pomoću iste lampe (Sl. 170.). Svjetlost ugljenova, odbita od ugnuta zrcala XY, ide kroz rastopinu joda F i pada na oveliko ugnuto zrcalo (posrebreno). Iz joda ne izlazi ništa vidljive svjetlosti i u žarištu je zrcala F potpuna tmina. No žigica u F plane, prah prasne, a cigara se sama zapali: to je potpun dokaz, da se nevidljivi valovi svjetlosti od ugnuta zrcala odbijaju baš po istim zakonima, kao i valovi vidljive svjetlosti.

No kao što u jodu nadjosmo tvar, koja apsorbira sve valove vidljive svjetlosti, a propušta ultracrvene nevidljive valove, možemo unaprijed suditi, da će se možda naći i tvari, koje su za vidljivu svjetlost sasvim prozračne, a nevidljivu jako ili posvema apsorbiraju. Zanimljiva su s te strane navlastito neka tjelesa. No za takva ispitivanja obični termometri već ni iz daleka nisu dosta osjetljivi. Mjesto njih treba upotrebiti Nobilijev „termomultiplikator“* (Sl. 171.). Ovdje bih o njem tek toliko rekao, da se u njem radja električna struja, kako mu na površinu padaju zrake topline. Ta struja



Sl. 171. **Nobilijev termo-multiplikator.**

teče u veoma osjetljiv galvanometar i otklanja magnetičku iglu. Po veličini toga otklona možeš suditi, za koliko se površina ugrijala, pak se je pokazalo, da ova sveza termobaterije s galvanometrom izvjesno pokazuje diferenciju temperature od $^1/_{5000}{}^0$ C. Još je osjetljiviji „bolometar“, što ga je upotrebio Langley kod svojih glasovitih istraživanja o ultracrvenom spektru. I on upotrebljava posredovanje električne struje, da pokaže najmanje razlike u toplini.

* Princip i opis toga vanredno osjetljivoga „električnoga termometra“ pogledaj u mojoj knjizi „Crte o magnetizmu i elektriciteti.“ Zagreb, 1891. St. 217.

S obje strane jednoga mosta razapete su tanke žice od platine i kroz nje teče struja. Dok su obje struje jednake jakosti, ne teče u mostu nikakva struja, i u most uklopljen galvanometar ne pokazuje nikakva otklona igle; no kako se jedna ili druga polovina žice najmanje ugrije, mijenja joj se otpor i struja je u toj polovini žice nešto slabija. U mostu sada teče struja, a igla je galvanometra svojim otklonom s mjesta pokazuje. Pokazalo se je, da se tim instrumentom može dokazati diferencija temperature od jedne stomilijuntine Celsijeva stupnja, pak je Langley svojim bolometrom mogao mjeriti množine topline, što nam ih šalju nekretnice, za koje se zna, da su sunca, koja su od nas stotine hiljada puta dalja od našega Sunca!

Pomoću ovih „električnih termometara" našlo se je, da ovi dugački valovi nevidljive svjetlosti za čudo ne idu jednako lako kroz tjelesa sasvim prozračna za kraće valove vidljive svjetlosti. Uzmeš li na pr. komad staklene ploče naših prozora, opazit ćeš, da razmjerno mnogo tih zraka topline apsorbira, no ipak ih bar nešto propušta: staklo je za dugačke valove topline jedva prozirno, dok je za kraće valove vidljive svjetlosti sasvim prozračno. Crveno ih staklo jače apsorbira, a modro još jače. Pločica od kremena (kvarca) propušta mnogo bolje zrake topline nego ikoje staklo, dok ih opet sasvim prozračna pločica iste debljine od vapnenca mnogo jače upija od svih do sada spomenutih tvari. Ako napokon uklopiš u put zrakama pločicu od kuhinjske soli iste debljine, nalaziš, da ona sve valove topline propušta i gotovo ništa od njih ne apsorbira, dok je za kraće valove tek prozirna. Kuhinjska je sô dakle za dugačke valove topline veoma prozračno tijelo, pa kad hoćeš da dobiješ spektar tih dugačkih valova, treba da ih lomiš u prizmi od kuhinjske soli, a ne od stakla.

Baš ova istraživanja sunčanoga spektra pomoću prizama od kuhinjske soli donijela su još jedan zanimljivi obret. Vidljivi sunčani spektar ima na mnogim mjestima tamnih crta (Fraunhoferove crte), i to je znak, da onih valova svjetlosti u sunčanoj svjetlosti nema. Mogli bismo po tom suditi, da će i u ultracrvenom dijelu spektra biti takvih „hladnih crta"; one bi nam se odale tijem, da se naši osjetljivi električni termometri na tim mjestima ništa ne ugriju, dok se desno i lijevo od njih ugriju. I zaista je navlastito Langley našao čitav niz Fraunhoferovih crta u ultracrvenom spektru; najjače su označene slovima *X, Y, Z* itd. Langley je do 700

takvih hladnih crta našao, njihova mjesta točno izmjerio i tek prije 2 godine publicirao je svoj „novi spektar“, u kojem su na kraju valovi dugački 5·3 mi (μ). Tako smo saznali, da taj ultracrveni spektar našega Sunca prikazuje gotovo $^4/_5$ od ukupnoga izbijanja zrakâ njegovih, dok na vidljivi ili Newtonov spektar dolazi više od $^1/_3$! Ova su istraživanja Langleyeva nedogledne važnosti, jer nam otvaraju nove vidike na pitanje, otkuda hladne crte u ultracrvenom spektru Sunca i što nam odaju te crte o atmosferi Sunca i Zemlje?

Ali to su pitanja naučne budućnosti! Nas vodi put drugamo!

2.

Ultraljubičaste zrake sunčane svjetlosti. Vidljivi se dio sunčanoga spektra završuje na drugoj strani ljubičastom svjetlošću; najkraći su valovi dugački 0·360 μ (mi). Izbija li naše Sunce još i drugih valova, kraćih od najkraćih valova vidljive svjetlosti, njihovo bi mjesto u spektru bilo s onu strane ljubičaste svjetlosti, jer se valovi u prizmi lome to jače, što su kraći. Oko ih naše ne vidi, jer su prekratki, pak nam ih poradi toga i ne odaje. No kako su nam se odali dugački valovi nevidljive svjetlosti svojim svojstvom, što griju, mogli bi nam se i oni kraći valovi nevidljive svjetlosti odati kojim drugim osobitim svojstvom svojim, — ako ih u opće ima! Kod ultracrvenih zraka pretvorila se energija svjetlosti u energiju topline. Ne bi li se ista energija svjetlosti mogla pretvarati u koju drugu prirodnu energiju, pak nam se i tim odati? Zna se već odavna, da svjetlost izvodi i kemijske učinke: ti su pače učinci svjetlosti u gospodarstvu prirode veoma važni za rastenje bilja. Klorofil — zelena boja bilja — ima čudno svojstvo, da pomoću sunčane svjetlosti kemijski rastvara ugljičnu kiselinu uzduha, ugljik prima u se, a kisik pušta natrag u uzduh. Ovim kemijskim procesom prima biljka iz uzduha sav ugljik, što ga treba, da izgradjuje svoje tijelo. No ovo se djelovanje klorofila zbiva samo na svjetlosti i osniva se na apsorpciji svjetlosti, navlastito crvene: energija se svjetlosti dakle svaki dan pred našim očima pretvara u kemijsku energiju: svjetlost izvodi kemijska spajanja i rastvaranja.

No nije to jedini primjer. Ako u boci smiješaš dva plina, klor i vodik, u tamnoj sobi, pak bocu metneš na Sunce, s mjesta će prasnuti: klor se je s vodikom kemijski spojio utjecanjem sunčane svjetlosti.

Tko napokon ne zna danas za fotografiju, tu umjetnost, koja se je po svem svijetu raširila i u velike usavršila? Osnova joj je i

opet kemijsko djelovanje sunčane svjetlosti. Ne će biti na odmet, ako baš na nju nadovežemo naš izlet u ovo drugo područje nevidljive svjetlosti.

U svakoj se ljekarni dobije uz ime „klorovo srebro“ bijel prašak (u crnoj boci!), koji je kemijski spoj klora i srebra, kemičar bi rekao, da je to „sô srebra“. Nešto toga praška uspi u zdjelicu i metni u put svjetlosti iz lampe ili heliostata. Za kratak ćeš čas vidjeti, da je prašak pocrnio. Što se je dogodilo? Djelovanjem se svjetlosti ova sô srebra rastavila: srebro se je od klora odlučilo u obliku crnoga finoga praška; a da se to dogodi, trebalo je, da prašak apsorbira zrake svjetlosti. Slično djeluje svjetlost i na neke druge soli srebra na pr. jodovo srebro i bromovo srebro. A baš ovo svojstvo srebra, da se izlučuje iz svojih soli, kad na nje padaju zrake svjetlosti, upotrebljava fotografija od prilike ovako.

Sô se srebra namaže kao tanka vrsta na staklenoj ploči ili na papiru. Danas se obično upotrebljava bromovo srebro. Sa želatinom se smiješa sô u tako zvanu „emulziju“, u kojoj se je sô razdijelila na najmanje čestice, i ova se želatina bromova srebra u posebnim tvornicama lijeva na staklene ploče i onda suši. To su poznate „suhe fotografijske ploče“.

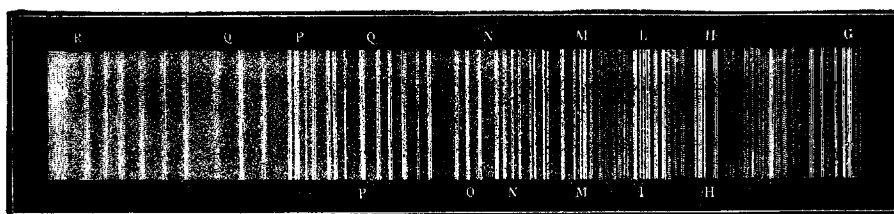
Za fotografijske papire uzimlju obično klorovo srebro, pa ga pomoću bjelanjka ili kolodija ili želatine pričvrste na papir. Razumije se, da ovakve ploče i papire treba spremiti u tmini, jer bi na svjetlosti pocrnjeli.

S takvim papirom načinit ćemo ovaj pokus. Nekoliko likova, izrezanih iz lima, metnut ćemo (u tamnoj sobi!) na osjetljiv papir i onda ćemo ga izložiti bijeloj svjetlosti električne lampe, ili Sunca. Za pô minuta je papir dosta potamnio, gdje su valovi svjetlosti dopirali do njega; ispod limenih je likova ostao nepromienjen, pa poradi toga vidimo na papiru „sliku“ onoga lika. Sve su vrste zrakâ bijele svjetlosti i vidljive i nevidljive zrake topline udarale o papir, pak je sada pitanje: koje su od tih zraka izvodile ono kemijsko rastvaranje soli srebra?

Nije teško s pomoću fotografijskoga papira i to pitanje riješiti. Spektar se bijele svjetlosti baci na ovelik komad fotofrafijskoga papira, pak jednostavno čekamo nekoliko minuta, da vidimo, od kojih će boja papir pocrnjeti. Uspjeh je pokusa opet veliko iznenadjenje! Crvena, narančasta i žuta svjetlost ne djeluje na papir ništa, on ostaje ondje sasvim bijel. On počinje tamniti tek u zelenoj svjetlosti od prilike

kod Fraunhoferove crte *E*, ali jedva toliko, da možeš opaziti; jako pocrni tek u modroj i ljubičastoj svjetlosti, ali to ne prestaje na kraju ljubičaste svjetlosti: papir pocrni još daleko s onu stranu ljubičaste svjetlosti, gdje oko naše ne vidi ništa.

Taj važni pokus dokazuje nedvoumno,, da iz Sunca izbijaju i takvi valovi svjetlosti, koji su s onu stranu ljubičaste svjetlosti. Oni ne podražuju ništa vidni živac, ali nam se odadoše svojim kemijskim djelovanjem na soli srebra. Po njihovu položaju u spektru Sunca smjesta zaključujemo, da dužina tih valova nevidljive svjetlosti mora da je manja od 0·360 μ (mi) Dobili su ime „ultraljubičasti valovi i ultraljubičaste zrake". I u ovom dijelu sunčanoga spektra ima Fraunhoferovih crta, t. j. mjesta, gdje nema ultraljubičastih zraka, koje bi rastvarale sô srebra; odaju nam se veoma lijepo, ako se spektar fotografira: sve su Fraunhoferove crte na fotogra-



Sl. 172. Dio ljubičastoga i ultraljubičastoga spektra sunčanoga.

fijskom papiru svijetle, kako pokazuje slika 172., na kojoj je fotografija ljubičastoga (od crta *G* do *H*) i onda ultraljubičastoga dijela sunčanoga spektra; glavne se Fraunhoferove crte u tom području spektra označuju slovima *L, M, N, O, P, Q, R, S* i fotografija pokazuje odmah i njihova mjesta u spektru.

Za istraživanje ovih ultraljubičastih valova bilo bi dakako najbolje upotrebiti takvu tvar, koja apsorbira sve vidljive valove svjetlosti i sve ultracrvene, a propušta samo ultraljubičaste. No takve tvari do sada ne poznajemo. Za mnoge je slučajeve dosta dobro ljubičasto kobaltovo staklo, koje zaista apsorbira sve vidljive valove osim krajnjih ljubičastih. Ali se je pokazalo, da svako staklo u velikoj mjeri apsorbira i sve kratke ultraljubičaste valove. Poradi toga su se fizičari ogledali za tvar, koja bi ultraljubičaste, kratke valove bolje propuštala i našli su, da je kremen (u kristalima) takva tvar; za pokuse s ovakvim zrakama upotrebljavamo prizme i leće od

kremena. Njihovom su pomoću mogli po nama poznatim metodama i dužine tih valova izmjeriti. Po Stokesu bi bio najkraći val dugačak 0·18 μ (mi); no po najnovijim pokusima Schumanna ima ih još dugačkih i 0·1 μ (mi) t. j. sto milijuntina jednoga milimetra.

Iz Sunca ne izlaze dakle u eter samo vidljivi valovi svjetlosti s dužinama izmedju 0·820 μ i 0·360 μ, nego se po njem šire još mnogo duži valovi sve do 50 μ, a i mnogo kraći sve do 0·1 μ, Kad bismo htjeli upotrebiti analogiju sa zvučnim valovima, mogli bismo reći, da valovi vidljive svjetlosti obuhvataju samo jednu oktavu, jer čestice etera titraju u skrajnjoj ljubičastoj svjetlosti dva puta tako brzo kao u skrajnjoj crvenoj; ultracrveni valovi idu pak za više nego pet oktava niže, dok ultraljubičasti valovi od prilike za dvije oktave više idu od ljubičastih. U svem dakle izbijaju iz našega Sunca eterski valovi, koji obuhvataju punih osam oktava. Najduži su po posljednjim istraživanjima Rubensa i Nicholsa valovi od 50 μ ili $^1/_{20}$ milimetra, u kojima čestice etera izvršuju 6 bilijuna titraja u svakoj sekundi, a najkraći su jedva 0·1 μ (mi) ili 100 milijuntina milimetara dugački, a čestice etera izvršuju u tim valovima po 3000 bilijuna titraja u svakoj sekundi!

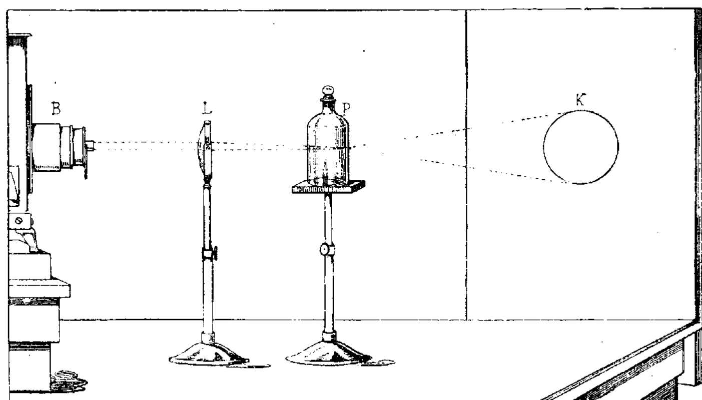
Zaista se mora svatko diviti oštroumnosti fizičara, koji su i ovake veličine umjeli mjeriti.

No povratimo se ultraljubičastim valovima, oni su sada u središtu našega interesa. Oni nam se odadoše svojim kemijskim djelovanjem. Na mjestu je pitanje: ne izvode li ovi vanredno kratki valovi svjetlosti još kakve učinke, po kojima bismo ih još lakše i brže prepoznali, nego razmjerno mučnim putem fotografovanja.

Englez je Stokes (čitaj: Stôks) zaista otkrio još jedno svojstvo njihovo, koje je veoma zanimljivo. Ima čitav niz tjelesa, koja na površini svojoj pokazuju drukčiju boju nego u unutrašnjosti. Uranovo je staklo na pr. žuto, ali na površini pokazuje sjajnu zelenu boju. Kinin (rastopljen u vodi!) bezbojan je, no na površini pokazuje lijepu modru boju, čim ga držiš u svjetlosti. I petrolej je takva tekućina. Možemo reći, da ta tjelesa svjetlost, koja na njih pada, niti apsorbiraju, niti propuštaju, nego ju jednostavno pretvaraju u svjetlost drukčije vrste. Ovomu zaista čudnomu svojstvu tih tjelesa dao je Stokes ime „fluorescencija“ i upotrebio ga je, da inače nevidljive ultraljubičaste zrake pretvori u vidljive. Ime je uzeo od rude „fluorita“, na kojem se je ovo u prvi mah neponjatno svojstvo naj-

prije opazilo; i fluorit naime sja lijepom modrom svjetlošću, kada ga obasjava bijela svjetlost.

Da proučimo iz bližega novi pojav! Iz električne lampe izlazi pramen bijele svjetlosti, ali sada kroz leću od kremena, za koju znamo, da dobro propušta ultraljubičaste zrake. Kako bi uklonili gotovo sve vidljive zrake, namjestimo u put bijeloj svjetlosti jur spomenuto ljubičasto kobaltovo staklo; iz njega izlaze gotovo same nevidljive ultraljubičaste zrake. U bočicama je pred nama cio niz tekućina, koje imaju svojstvo fluorescencije, ili, kako bi kraće rekli, koje „fluoresciraju“: žuti fluorescin pokazuje na površini svojoj pod utjecanjem nevidljivih ultraljubičastih zraka sjajnu zelenu boju;



Sl. 173. Petrolej fluorescira.

eosin, koji je blijede rosa-boje, postaje na površini narančast; bezbojni kinin je na površini sjajno modar itd.

Nema na osnovi toga pokusa sumnje o tom, da su u prvom redu baš ultraljubičaste zrake spektra uzrok ovim bojama flourescencije, a na nama je, da ovu novu zagonetku razjasnimo.

Pred nama je električna lampa B (Sl. 173.). Njezina svjetlost ide najprije na leću od kremena L i onda stožac zraka ulazi u bočicu P, u kojoj ima petroleja. Ako je veoma čist, on je bezbojan kao čista voda, inače je slabo žutkast. Pramen je svjetlosti, dok ide kroz petrolej, modar, pa ipak svjetlost, koja izlazi, nije modra, nego bijela, kako to pokazuje bijeli krug K na zastoru. Kako to? Da je modrina u petroleju tijem nastala, što je on sve boje bijele

svjetlosti osim modre, apsorbirao, morala bi i propuštena svjetlost biti modra, kao u modrom staklu. No ona je za čudo bijela. Dalje vidimo, da je petrolej samo ondje modar, gdje bijela svjetlost ide kroza nj, a svagdje je drugdje ostao bezbojan kao voda. Sama ti se gotovo nadaje misao, da je petrolej ondje, gdje o nj udara bijela svjetlost, počeo sâm svijetliti i to u modroj svjetlosti. Ako bolje pogledaš tu modru svjetlost, opazit ćeš, da je modra boja na ulazu u petrolej jača i sjajnija nego na kraju njezina puta kroz petrolej. Čini se dakle, kao da bijela svjetlost, što dalje ide u petrolej, to više gubi svoje svojstvo buditi modru svjetlost. I zaista je tako. Namjesti iza prve bočice petroleja u put zrakama još jednu bočicu petroleja, pak ćeš doista vidjeti, da u prvoj pramen zraka svijetli lijepom modrom bojom, u drugoj pak ne. To nam kazuje jasno, da je svjetlost, koja je prošla kroz prvu bočicu, već izgubila svojstvo, da budi modro svijetlenje petroleja. Prva je bočica dakle očito iz bijele svjetlosti izabrala neke zrake, apsorbirala ih i te zrake mora da su uzrok fluorescenciji petroleja. Predjašnji nam pokus već pokazuje, da su te zrake navlastito ultraljubičaste.

Ovakim se pokusima mogu sada redom ispitati sve tvari, da nam kažu točno svoju vlastitu boju i svoju boju fluorescencije. Stožac svjetlosti u tekućini nam naime pokazuje boju njezine fluorescencije, a krug K na zastoru vlastitu boju tekućine. Evo maloga popisa.

Ime tekućine:	Boja fluorescencije:	Vlastita boja:
Rastopina kinina	modra	bez boje
„ eskulina	sjajno modra	„ „
„ eozina (rijetka)	žutkasto-zelena	roza
„ eozina (koncentrirana)	žutkasto-zelena	crvena
„ klorofila	crvena kao krv	zelena
„ resorcina	crvena	plava.

Osim jur navedenih čvrstih tjelesa, koja fluoresciraju, ističe se u najnovije vrijeme osobito barijev platincianir sa svoje fluorescencije najviše s toga, što ovu sô upotrebljavaju kod Röntgenovih zraka. Danas se prodavaju gotovi zastori namazani tom solju. Na kartonu, koji je otraga crn, namazana je na prednjoj strani debela vrsta fino razdrobljena barijeva platincianira pomoću posebnoga

ljepka. Kad na nj udara svjetlost, fluorescira veoma živo u bjelkastoj svjetlosti. koja nešto udara u zelenkasto. Ovaki su zastori barijeva platincianira osobito zgodni, da nam kažu, koje boje spektra bude osobito fluorescenciju. Bacimo li na taki zastor čitav spektar bijele svjetlosti, izveden dakako prizmom i lećom od kremena, a ne od stakla, vidjet ćemo smjesta, da se fluorescencija jače javlja tek u modroj i ljubičastoj boji, ali zastor svijetli još daleko u ultraljubičasti dio spektra. Potvrdjuje se dakle ponovno, da ultraljubičaste zrake bude fluorescenciju u soli, te ju zrake bûde gotovo svagda u najvećoj mjeri.

Nakon ovih pokusa prilično smo se dovinuli tajni fluorescencije. Ako na tijelo, koje može fluorescirati, baciš pramen bijele svjetlosti, apsorbira ono neke valove, navlastito ultraljubičaste, iz bijele svjetlosti. No ta se energija apsorbirane svjetlosti ne pretvara ni u toplinu, kao kod ultracrvenih valova, ni u kemijsku energiju, kao kod drugih tjelesa, nego ona podražuje najmanje čestice tijela na tako živo titranje, da one same postaju izvor svjetlosti, da sâme svijetle svojom osobitom svjetlošću. Ne izvode fluorescenciju sve zrake svjetlosti, nego samo one, koje je tijelo apsorbiralo. To nam lijepo pokazaše obje boce petroleja. Prva je već bila apsorbirala iz bijele svjetlosti one zrake, koje izvode fluorescenciju, pa poradi toga je u drugoj boci već ne bijaše.

Druga veoma važna činjenica, koja izlazi iz naših pokusa, jest ta, da fluorescenciju izvode navlastito ultraljubičasti valovi nevidljive svjetlosti, dakle u opće najkraći valovi. Gotovo sva tjelesa apsorbiraju te zrake i poradi toga ima mnogo tjelesa, koja fluoresciraju utjecanjem baš tih zraka. Mi saznasmo tako za drugo važno svojstvo ultraljubičastih valova: oni pretvaraju nevidljivu svjetlost u vidljivu.

No treba naročito istaknuti, da ne bûde svagda samo ultraljubičaste zrake fluorescenciju. Rastopina klorofila na pr. fluorescira od crvenih zraka svjetlosti. Ali s druge ćemo strane opet unaprijed smjeti reći, da će u opće jaku fluorescenciju buditi u prvom redu taki izvori svjetlosti, u kojima je mnogo ultraljubičastih zraka. Taki su izvori svjetlosti na pr. plinovi, koji u Geisslerovim cijevima zasvijetle od električne struje.

Ovo svojstvo ultraljubičastih valova, da bûde fluorescenciju, dovelo nas je do riješenja zanimljiva problema: do fotografije nevidljivih tvari. Mi možemo danas zaista fotografirati, čega oko

naše i ne vidi. Evo, kako je to pokazao Sylvanus Thompson svojim slušačima u predavanjima o svjetlosti, što ih je prije nekoliko godina držao u londonskoj „Royal Institution“, ali je na istome mjestu sličan pokus pokazao dr. Hall 20 godina prije, a poslije njega profesor Tyndall u svojim glasovitim predavanjima o svjetlosti, što ih je ponovno držao po Americi i Engleskoj. Na zidu kraj njega visio je bijel list risaćega papira razapet na risarskoj daski. Bacio je na papir svjetlost svoje električne lampe: ništa se na njem nije vidjelo do bijele plohe. Fotograf je namjestio svoju kameru i papir snimio. Na ploči, razvitoj pred slušačima, vidjelo se je, da je papir bio ispisan i svatko je mogao pismo pročitati. Fotografija je odala tajno, nevidljivo pismo! Nije li to gotovo čudo? Za neznalicu jest, za nas već nije! Papir je bio ispisan bezbojnom rastopinom kinina (sulfata kinina) u limunskoj kiselini, dakle tvarju, koja živo fluorescira, kad na nju pada ultraljubičasta, nevidljiva svjetlost. Kad si rasvijetlio papir običnom svjetlošću, apsorbirao je kinin ultraljubičaste zrake i s tih se mjesta od papira odbijalo manje ultraljubičastih zraka, koje djeluju na fotografijsku ploču u kameri, nego li s drugih neispisanih mjesta. Posljedica bijaše, da su ta mjesta bila tamnija od ostalih mjesta, gdje ne bijaše kinina, koji fluorescira, i tim su nam se u fotografiji odala.

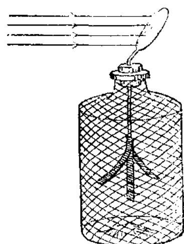
No možda je još zanimljivije, da se to nevidljivo pismo može načiniti vidljivo! Ne trebaš da uradiš ništa drugo, nego da iz obične svjetlosti ukloniš s pomoću ljubičasta stakla gotovo sve vidljive zrake, a ljubičaste i ultraljubičaste baciš na ispisani papir: usred tame svjetlucat će pismo u nježnoj plavoj svjetlosti.

Kad je Tyndall u Americi predavao o svjetlosti, dobio je od Mortona nešto „tallina“, novoga ugljikova vodika, koji je takodjer imao svojstvo fluorescencije. Tyndall je donio kući cio niz crtarija, izvedenih na papiru tim tallinom i drugim tvarima, koje fluoresciraju. Na jednom je papiru na pr. bio naslikan divlji slez: lišće je bilo naslikano tvarju, koja zeleno, a cvijeće tvarju, koja u slabu purpuru fluorescira. Kad bi na tu nevidljivu sliku bacio pramen svjetlosti, koji je prošao kroz ljubičastu staklenu ploču, divna bi slika osvanula na papiru.

S pomoću ovakvih zastora, koji su namazani na pr. barijevim platincianirom, veoma je lako dokazati, da i nevidljiva svjetlost ultraljubičasta ima sva svojstva obične vidljive svjetlosti — do jednoga, a to je, da se ne vidi. Da se ona odbija od zrcala po istom za-

konu kao i vidljiva, pokazat ćeš, ako joj u put namjestiš zrcalo; od odbijenih će valova s mjesta zastor zasvijetliti. Da se lomi, pokazat ćeš prizmom od kremena, koja te valove lomi i propušta, pak ih otklonjene baci na zastor, koji s mjesta svjetluca. Nema dakle nikakve sumnje, da su i ti valovi svjetlosti različni od običnih vidljivih valova svjetlosti tek — po svojoj dužini.

Neka nadje mjesta još bilješka, da je lijepi pojav fluorescencije tek jedan od čitava niza pojava, koji se u najnovije vrijeme pomno proučavaju. Profesor E. Wiedemann dao im je zajedničko ime „luminiscencija“; hrvatski bismo mogli reći „svjetlucanje.“ Ako hoćeš, da se ugljen pretvori u izvor svjetlosti, treba da ga najprije ugriješ do 525° C, i onda će tek svijetliti u tamnoj rumeni; a da osim crvenih zraka izbija i žute, zelene, modre i ljubičaste, dakle bijelu svjetlost, treba da se ugrije preko 1000° C. Naši su obični izvori svjetlosti dakle ujedno i veoma vrući, u njima imamo „toplu svjetlost“; no to nam je svijetljenje često nezgodno baš poradi topline, koja je uz svjetlost, a osim toga je i neekonomična, jer se gotovo $^4/_5$ energije troše na toplinu, a tek $^1/_5$ se pretvara u svjetlost. Dugački valovi topline razore organičke tvorbe: u našim vrućim izvorima svjetlosti izgore organizmi.



Sl. 174. Ultraljubičaste zrake ispražnjuju elektroskop.

U fluorescenciji pak nadjosmo izvore svjetlosti, koji nam daju zelenu i modru svjetlost svoju već kod obične temperature sobe, ako nevidljive ultraljubičaste zrake na njih padaju. Mi dakle s punim pravom možemo reći, da je svjetlost fluorescencije „hladna svjetlost.“ Pokazalo se je, da ima još takih izvora „hladne svjetlosti“, kojima se temperatura ne diže visoko, kad izbijaju svoju svjetlost, a čitavoj hrpi tih pojava dao je Wiedemann ime „luminiscencija.“

Bit će poslije prilike, da se taknemo i ovih prezanimljivih izvora hladne svjetlosti, a sada nam je još časak ostati kod nevidljivih ultraljubičastih zraka, jer je u najnovije vrijeme profesor Hertz otkrio još treće veoma zanimljivo svojstvo tih zraka, kojega nema niti jedna druga vrsta valova svjetlosti.

Pred nama je elektroskop (sl. 174.) s pločicom cinka na gornjem kraju, koja je metalički čista. Nagnuta je pod kutom od 45°, jer je u tom položaju učinak najbolji. Elektroskopu dademo negativan naboj i listići se s mjesta daleko razidju, pa ako je uzduh oko

elektroskopa suh, ostat će duže vremena razmaknuti. No kad je Hertz na pločicu bacio pramen ultraljubičastih zraka, smjesta su se listići sklopili, a to je dokaz, da se je elektroskop ispraznio. Ako je pak elektroskop imao pozitivan električni naboj, ostao je nabit i uz ultraljubičaste zrake.

Ultraljubičasti valovi imaju dakle i treće nada sve zanimljivo svojstvo, da ispražnjuju električna tjelesa, nabita navlastito negativnim nabojem, ako su ta tjelesa u uzduhu.

Evo novoga prezanimljivoga učinka svjetlosti, koji spaja pojave svjetlosti s pojavima elektricitete! Kako je bio posvema nov, podražavao je stručnjake na nova istraživanja, koja se danas na čitavom svijetu izvode velikim sredstvima i neobičnom žurbom. Čini se po svem, što ta istraživanja dan na dan iznose, da fizika stoji pred sasvim novom hrpom prirodnih pojava, koja će po svoj prilici biti tako velika, kao hrpa električnih pojava, a možda još zanimljivija i vrednija za čovjeka! Kako su prije 100 godina neznatni osnovni pokusi Galvanija, Volte i Oersteda tek malko bili otvorili vrata k današnjoj silnoj elektrotehnici, tako se čini, da se na početku dvadesetoga stoljeća po malo otvaraju vrata u novo područje prirodnih pojava, za koje danas nitko ne zna, što će još donijeti čovjeku. Mi ćemo poslije još pogledati i na ta vrata!

Sad nam se je za čas udaljiti od našega naučnoga razmatranja, pa pogledati iz bližega jabuku, što ju je digao čovjek pomoću kemijskih učinaka svjetlosti.

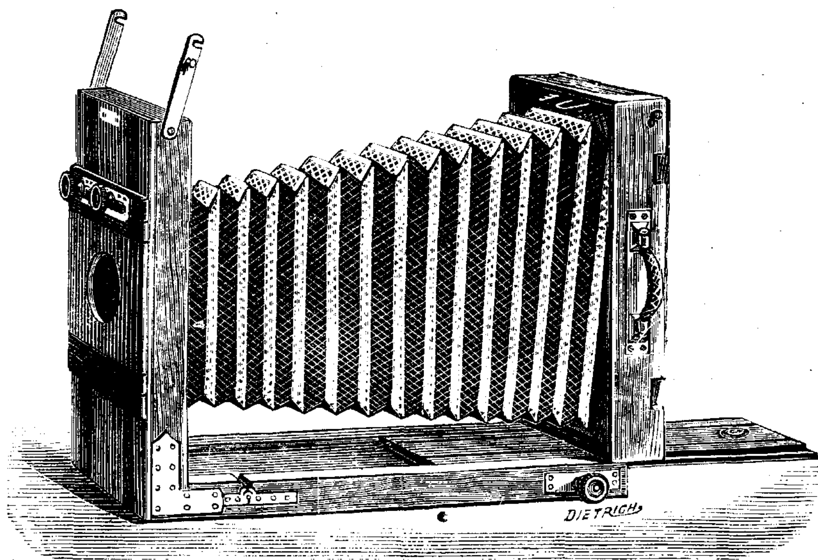
3.

Fotografija. Ne može da bude zadaća ovih redaka, da razjasni i opiše postupak kod fotografovanja, te krasne umjetnosti, koja u naše dane sve više zanima široke krugove obrazovanih ljudi na čitavom svijetu, a taj će interes amaterâ bez sumnje još mnogo privrijediti svim naukama i umjetnostima. Našu Maticu bez sumnje čeka i ta lijepa zadaća, da hrvatskim amaterima fotografije dade u ruke pristalu knjigu o fotografiji, kako bi ona i u hrvatskom narodu svoje pridonijela širenju pravoga znanja.

Naša zadaća može tek da bude ta, da razjasnimo osnove fotografije i da svratimo pažnju na najnovije pokuse o fotografovanju u prirodnim bojama.

Nadovežimo na čas prije opisane pokuse (str. 285.). Sunčana svjetlost, a u njoj navlastito ljubičaste i ultraljubičaste zrake, rastva-

raju neke soli srebra, na pr. klorovo srebro, bromovo srebro i jodovo srebro. Staklene ploče, namazane redovito bromovim srebrom razdrobljenim na tanko u želatini, danas se u velike izvode po najrazličnijim načinima i u najrazličnijim stupnjevima osjetljivosti spram svjetlosti u tvornicama i u svakoj ili ljekarni i optičkoj trgovini možeš dobiti uz ime „suhe fotografijske ploče.“ Kako su veoma osjetljive na svjetlost, zamotane su u crni papir, koji ne propušta svjetlosti, a otvorit ih smiješ samo ili u tmini, ili u sobi rasvijetljenoj tamno rumenom svjetlošću, jer crvena svjetlost tih soli ne rastvara. Fotograf radi u tamnoj sobi rasvijetljenoj slabom crvenom lampom.



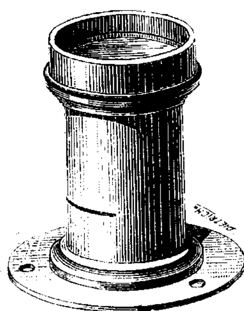
Sl. 175a. Fotografijska kamera (otvorena).

„Fotografijski aparat“ ili „fotografijska kamera“ u glavnom je sastavljena od ormara, koji je sa svih strana zatvoren (camera obscura, tamna sobica), ali se može rastezati kao harmonika (Sl. 175a—d.*). Sprijeda u otvor dolazi staklena leća sabirača („objektiv kamere“), koja daje sliku rasvijetljenih predmeta ispred nje na bijeloj staklenoj ploči, namještenoj u odredjenoj daljini na stražnjoj strani kamere. Ta je daljina ploče od objektiva različna prema daljini predmeta od

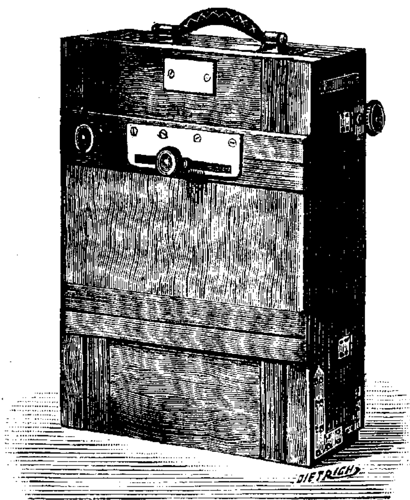
* Ove slike 175a—175d. odstupio je g. I. Deberto, optik u Zagrebu, kod kojega se ovi aparati mogu dobiti.

objektiva. Za veoma daleke predmete bit će oštra slika u žarišnoj daljini objektiva (isp. str. 194. i 195.); što je objektiv pupčastiji, to je manja žarišna daljina. Objektiv je kamere (sl. 175c. i 175d.) kombinacija od više leća različnoga stakla, a u sredini izmedju tih leća namještena je okrugla rupa, koja se može uvećati i umanjiti („iris-zastor"). Jednomu je i drugomu samo ta svrha, da slike predmeta budu na ploči što savršenije i oštrije.

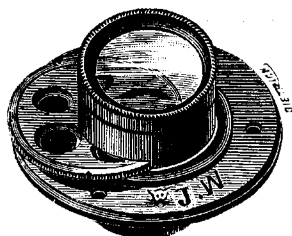
Kad je slika na staklenoj ploči posvema dobra i oštra, zamijeni se staklena ploča fotografijskom, koja je još uvijek dobro za-



Sl. 175c. Objektiv fotografijske kamere.



Sl. 175b. Fotografijska kamera (zaklopljena).



Sl. 175d. Objektiv fotografijske kamere.

tvorena u „kaseti", da do nje ni od kuda ne može svjetlost. Otvoriš li kasetu, djeluju zrake svjetlosti, koje dolaze od predmeta, na fotografijsku ploču i ona će nakon kratkoga vremena (2 - 5 minuta) pocrnjeti na svim mjestima, gdje su zrake svjetlosti o nju udarale. No sva mjesta te crne slike ne će biti jednako tamna: što su jače bile zrake svjetlosti na kojem mjestu, to je crnija ploča na tom mjestu, i obrnuto, a gdje ne udaraju o ploču nikakve zrake svjetlosti, tamo se ploča ne mijenja. To su nam već i predjašnji pokusi s fotografijskim papirom pokazali. Svjetlost je tanku vrstu bromova

srebra kemijski rastvarala i srebro se u obliku finoga crnoga praška izlučilo u to većoj množini, što je jača bila svjetlost; no za to djelovanje svjetlosti treba vremena. Dobivena je slika predmeta crna u različnim stupnjevima crnine: što je jača svjetlost na kojoj partiji predmeta, to je tamnija crnina na tome mjestu u fotografijskoj slici njenoj, i obrnuto: fotografijska je slika na staklenoj ploči dakle spram predmeta u neku ruku negativna, t. j. što je na predmetu svjetliji koji dio njegov, to je crniji taj dio na fotografijskoj ploči, i obrnuto. Poradi toga se i zove ta slika predmeta „fotografijski negativ."

Otkuda svjetlosti to zaista čudno svojstvo, da ovako rastvara bromovo srebro? — pitanje za umna čovjeka zanimljivo, a za napredovanje fotografije bez sumnje veoma važno.

Po onom, što saznasmo o svjetlosti, možemo i na to odgovoriti. Svjetlost je valovito gibanje etera: čestice etera na svakoj zraci titraju živo tamo i amo, imaju dakle neku energiju gibanja. Kada to gibanje dodje do kojega tijela, koje bar nešto svjetlosti apsorbira, moramo uzeti, da se je jedan dio te energije svjetlosti u tijelu istrošio, da ga je nestalo. A na što se istrošio? Očito na to, da su titranjem etera molekuli i atomi tijela takodjer potaknuti, da se brže gibaju nego prije. No ta će nova gibanja molekula i atoma najprije biti sasvim nepravilna, svaki će molekul udarati o susjedne, od njih će se odbiti kao lopta, krenut će drugim smjerom itd., u jednu riječ: novo će gibanje molekula biti nepravilno. No taka nam se gibanja molekula očituju kao toplina: kod tih će tjelesa, a takih je najviše, energija svjetlosti izvesti toplinu. No kod drugih tjelesa, gdje su molekuli i atomi možda zgodno poredjani i sastavljeni, bit će ovo novo gibanje, koje dolazi od apsorbirane svjetlosti, pravilno i periodično, t. j. molekuli i atomi tijela zanjihat će se tamo i amo sve brže, i pravilno; posljedica će biti, da će iz njih izbijati svjetlost, a to nam zaista i pokazaše pojavi fluorescencije. Kod trećih se napokon tjelesa, a medju tima je i naše bromovo srebro, može dogoditi, da valovi svjetlosti jedan atom u molekulu jače potresu nego drugi, a posljedica je toga, da se molekul raspane u svoje dijelove, na pr. u srebro i brom. Graetz ima za taj učinak ovu lijepu prispodobu: Na vodi je komadić drveta, a kraj njega papir. Idu li preko njih valovi zgodne dužine, razmaknut će se nakon nekoga vremena drvo i papir, jer se nejednako odazivlju gibanju vode. To bi možda bila krupna slika rastavljanja bromova srebra kod fotografijskoga procesa.

No praktičan će fotograf u ovom našem razlaganju smjesta naći veliku kvaku. Za ovo kemijsko rastvaranje bromova srebra treba prema predjašnjim pokusima razmjerno mnogo vremena, 2—5 minuta, a mi svi znamo, da današnje fotografijske ploče daju izvrsne negative, ako se izlože svjetlosti malen dio jedne sekunde, na pr. jednu desetinu sekunde. Ta u tom je baš najveći napredak moderne fotografije. I na to ćemo na osnovi našega znanja moći odgovoriti. Svaki fotograf zna, da na njegovoj ploči nema nikakve slike, kad ju je tako malo vremena osvijetlio, pak ni najpomnije istraživanje ne može da pokaže nikakve promjene ni fizikalne ni kemijske u vrsti bromova srebra na ploči! Tek kad on tu ploču „razvije“ s pomoću različnih tekućina „razvijača“, pokaže se na njoj gore opisana crna negativna slika predmeta. Dakle opet nova tajna! Spomenuta poredba s drvom i papirom na vodi mogla bi nam ju bar donekle odati. Da se srebro pomoću valova svjetlosti sasvim rastavi od broma i u obliku crnoga praška izluči, za to bez sumnje treba nešto više vremena, no ako valovi svjetlosti i veoma malo vremena osvjetljuju ploču, moći će to postići, da se atomi srebra i broma bar nešto malo razmaknu, da nisu više tako blizu jedan drugomu, kao u običnu bromovu srebru, koje još nije osvijetljeno bilo. U jednu riječ: i najkraće osvijetljenje ploče izvodi u bromovu srebru neku preinaku (modifikaciju) u molekulima, koje u običnom bromovu srebru nema. I zaista su našli takih pojava, koji su to nedvoumno dokazali, i tim se je u fotografiji izvršio potpun prevrat u korist njezinih praktičnih primjena. Pokazalo se je naime, da sô srebra, koja je bila na pr. samo jednu desetinu sekunde osvijetljena, nije više onakva, kakva je bila prije toga, premda se na njoj ne mogu dokazati nikakve promjene. Poliješ li naime takvu osvijetljenu ploču nekim tekućinama, koje reduciraju (tako bi kemičar rekao), izlučuje se srebro u obliku finoga crnoga praška nakon kratkoga vremena. Na neosvijetljeno bromovo srebro pak takve tekućine ne djeluju ništa! Takih se tekućina, tako zvanih „razvijača“ (razumije se slikâ), danas već veoma velik broj načinio za fotografičnu praksu. Najviše se upotrebljava, a za početnika je u fotografiji bez sumnje i najzgodniji, „hidrohinon“ (hydrochinon). No ima dosta razvijača, koji su u neku ruku i bolji od hidrohinona, na pr. amidol, kiselina pirogalusa, rodinal, oksalat željeza, a u najnovije se vrijeme preporuča „odurol.“ S pomoću takova razvijača raspoznat ćeš svagda osvijetljenu ploču

od neosvijetljene, ako je njime poliješ, ili u njem „kupaš": neosvijetljena će ploča ostati bijela, osvijetljena će ploča nakon kratkoga vremena ($^1/_2$—5 minuta) pocrnjeti, sve ako si je samo tren osvijetlio.

Što je ovaj izum za fotografiju vrijedio, to svatko uvidja. U njem smo dobili sredstvo, da već nakon najkraćega osvjetljivanja ili nakon najkraće „ekspozicije" (tako bi rekao fotograf) možemo dobiti negativnu sliku na ploči, premda osvjetljivanje nije ni s daleka toliko trajalo, da bi moglo rastvoriti sô srebra.

Kako se danas fotografira, razumjet ćeš sada lako. „Fotografijsku ploču" možeš danas gotovu kupiti u svakoj veličini; ona je dakako „suha ploča", koja je na jednoj strani pokrita vrstom bromova srebra u želatini (gotovo sve ploče imaju danas ovu sô srebra). Ako treba mnogo ploča na put ponijeti, otešćava se znatno prtljaga staklenim pločama, koje su za pravo samo nosioci one tanke vrste bromova srebra. Poradi toga se gdjekada ta vrsta namaže na tanke listove (membrane) celuloida, i ti se zovu „filmsi", pak i njih dobiješ gotove u trgovini.

Kad su predmet, objektiv kamere i fotografijska ploča u pravoj medjusobnoj daljini namješteni, otvoriš poklopac ploče i izlažeš („eksponiraš") je zrakama svjetlosti, koje dolaze kroz leću od predmeta. Kako dugo, to zavisi o svjetlosti, koja rasvjetljuje predmet: možeš gdjekada dobiti sliku za jedan stotak sekunde, a drugda ćeš trebati i više minuta, ako je rasvjeta slaba. Ovako osvijetljena ploča na oko se nije ništa promijenila: ako je gledaš kod crvene rasvjete, koja pločama ništa ne škodi, bijela je kao i neosvijetljena ploča. Ako je pak položiš u razvijač, priredjen u zgodnoj zdjelici, i u njem neko vrijeme ostaviš, pokazat će ti se sva osvijetljena mjesta crna u različnim stupnjevima, a neosvijetljena bijela — dobio si negativnu sliku na ploči. No te slike još ne smijemo iz rumene sobice iznijeti na danju svjetlost, jer na neosvijetljenim je mjestima još uvijek bromova srebra, a to bi se na svjetlosti rastvorilo. Treba dakle to bromovo srebro rastopiti i s ploče ukloniti. Za to se upotrebljava rastopina podsumporičnoga natrija, koja rastapa soli srebra. Taj se posao zove „fiksiranje slike", a tekućina, koja rastapa sô, „kupka za fiksiranje". Sada tek smiješ s negativom izaći na danju svjetlost, ali ga moraš još dobro oprati, kako bi uklonio svu sô fiksiranja, i onda osušiti. No ta je slika negativna. Da dobiješ sliku s pravom razdiobom svjetlosti i tame, moraš načiniti još

jednu sliku, tako zvani „pozitiv." Ova se obično načini na fotografijskom papiru, na kojem je takodjer tanka vrsta koje soli srebra, obično klorova srebra. Papir se metne pod negativ i oboje se ponovno izlaže svjetlosti. Nakon kratkoga se vremena pojavi na papiru „pozitivna slika", u kojoj je razdioba svjetlosti i tame baš kao na predmetu. Ta se slika sada fiksira i pere, kao i negativ: da slika dobije ljepši „ton", obično dolazi još u „zlatnu kupku." Drugi se papiri ne izlažu tako dugo, dok se pojavi slika, nego sasvim kratko vrijeme, ali se onda slika mora u hidrohinonu razvijati itd. kao kod negativa.

Ako hoćeš pozitivnu fotografiju projicirati na zastoru, da je vidi čitavo društvo, načinit ćeš si „diapozitiv", a to je pozitivna slika na staklu, mjesto na papiru. Negativ se naime ne metne na papir, nego na staklenu „suhu ploču", oboje se izloži svjetlosti i onda dalje radi kao i prije.

Fotografija je zaista krasna umjetnost: njom možeš uhvatiti savršeno vjernu sliku svakoga predmeta na Zemlji i na nebu i tu sliku trajnu uzdržati. Tim nam se tumači njezino neobično raširenje u inteligenciji čitavoga svijeta, navlastito nakon izuma „suhih ploča" i postupka s njima. Ali jedan je prigovor svakoj fotografijskoj slici, pa i najsavršenije izradjenoj: ona nam pokazuje samo različne stupnjeve svjetlosti na predmetu, ali ne pokazuje njegovih prirodnih boja! U najnovije je doba pitanje o „fotografovanju u bojama" fotografijske krugove u velike počelo zanimati, pak treba, da i o tom nešto rečemo našim čitateljima. Mnogo su pokusa izvodili o tom već odavna, no s početka bez ikakva uspjeha, jer su fotografi upotrebljavali ploče, koje su samo na ljubičaste i ultraljubičaste zrake bile osjetljive. Posljedica je bila, da fotografijske slike bojadisanih predmeta nisu niti stupnjeve svjetlosti na predmetu pravo davale. Općeno je poznata bila tužba, da modra boja djeluje kao bijela, a crvena kao crno. To mi posvema razumijemo. Kako su naime soli srebra na crvenu svjetlost neosjetljive, a na modru i ljubičastu veoma jako, bit će negativ najcrnji tamo, gdje je modra svjetlost na nj dolazila, a najmanje ondje, gdje je crvena svjetlost dolazila. Na pozitivu je dakako obrnuto: on je najsvjetliji u modrini, a najtamniji u crvenim dijelovima predmeta. No H. W. Vogel (1873.) u Beču prvi je toj pogrješki našao lijek: on je načinio fotografijske ploče, koje su gotovo za sve boje dosta osjetljive. Take se ploče dobiju tim, da se soli srebra primiješaju takve tvari, koje

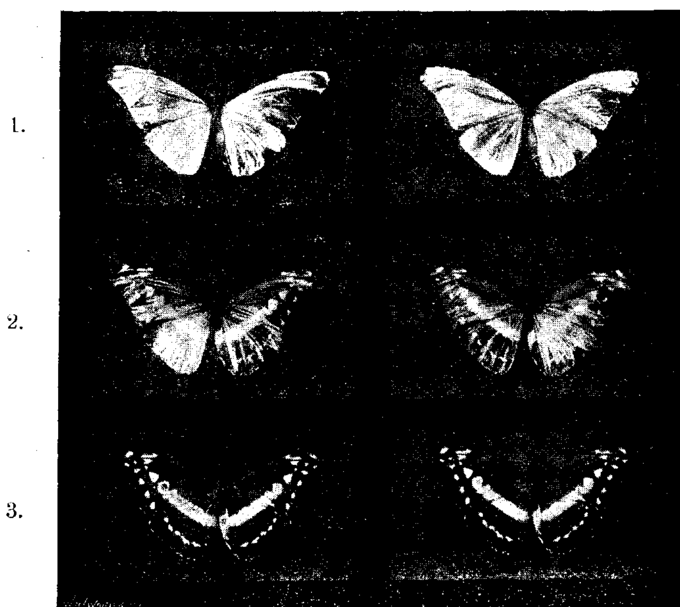
apsorbiraju zelene, žute i crvene zrake, a gdje ima apsorpcije, tamo se i sô rastvara, ili bar rasklima. Tako postadoše „ortohromatične ploče", koje daju stupnjeve svjetlosti i kod različnih boja u pravoj mjeri. Ali ni te ploče ne daju slike u prirodnim bojama. Ideal je pak fotografije, da načini slike predmeta u prirodnim bojama, ali ne naknadnim unošenjem tih boja na gotovu sliku, nego tim, da ju svjetlost sâma tako načini. No treba reći, da ni danas još ne znamo, kako bismo prisilili crvenu zraku, da na ploči načini baš crvenu boju, modru zraku, da načini modru boju, itd. Ipak se ističu dva različna pokusa u najnovije vrijeme. Prvi izvodi boje indirektnim putem, a drugi, upravo genijalni pokus Lippmannov u Parizu, direktnim.

Indirektna metoda osnovana je na sastavljanju bojadisanih svjetlosti u bijelu. Po teoriji Young-Helmholtzovoj postaje u našem oku svaki osjet boje s pomoću triju „jednostavnih" ili „prvotnih" osjeta. Pokazalo se je naime pokusima, da se svi pojavi gledanja boja mogu dobiti, ako se sastavljaju tri boje. Ta su tri osnovna osjeta našega oka: crveno, zeleno (koje prelazi u žutkasto) i modro-ljubičasto. Kad bismo od kojega predmeta načinili tri fotografije, jednu sa svjetlošću prve, drugu sa svjetlošću druge, a treću sa svjetlošću treće osnovne boje, kad bismo dalje svaku sliku rasvijetlili svojom bojom i napokon te tri slike položili jednu na drugu, morali bismo dobiti sliku predmeta u prirodnim bojama. Ova misao, koju je već god. 1861. izrekao Clerk Maxwell, mogla se tek izvesti, kad je Vogel izumio svoje ploče, osjetljive za pojedine boje. S pomoću aparata za miješanje boja, koji smo na predjašnjem jednom mjestu spomenuli (isp. str. 213.), možemo to zaista učiniti. Tamo smo naime vidjeli, kako se zaista iz tri osnovne svjetlosti: crvene, zelene i modro-ljubičaste, sastavlja bijela svjetlost, ako se one tri svjetlosti izvode zgodno odabranim pločicama od stakla ili želatine.

Kako bismo i fotografiju mogli pomoću toga aparata na na našem zastoru vidjeti u prirodnim bojama, treba predmet najprije tri puta fotografirati, ali tako, da se pred objektiv smjesti prvi put crvena, drugi put zelena, a treći put modro-ljubičasta pločica od stakla ili želatine. Od svake od ovih ploča načinimo po jedan diapozitiv na staklu (a ne pozitiv na papiru!). Kad dobro pogledaš ova tri negativa ili diapozitiva, vidjet ćeš lako, da se medju sobom razlikuju u stupnjevima crnine; to lijepo pokazuje priložena slika (sl. 176.), gdje je leptir šarenih krila tako fotografovan u

crvenoj (3), zelenoj (2) i modroljubičastoj (1) svjetlosti (na slici je 176. leptir u svakoj boji dva puta fotografovan; uzrok ćemo kasnije spomenuti).

Gdje je na pr. fotografovani predmet bio modar, tamo se je u negativu pod modrim staklom srebro u velikoj množini izlučilo, negativ je tamo jako crn; na istom tom mjestu predmeta u negativu pod crvenim staklom ne ćeš vidjeti nikakve crnine, jer crveno staklo nije ništa propustilo od modre svjetlosti, pak se ondje nije ni



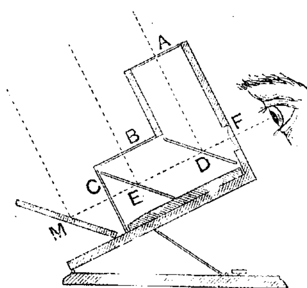
Sl. 176. Hromogrami: 1. Rasvjetljuje se ljubičasto modrom bojom.
2. „ „ zelenom svjetlošću.
3. „ „ crvenom svjetlošću.

srebro izlučilo; to je mjesto sada dakle sasvim svijetlo. U diapozitivu će naravno biti obrnuto: modra boja predmeta bit će na diapozitivu svijetla, a na drugom sasvim tamna. Crvena pak mjesta predmeta bit će na prvom diapozitivu tamna (crna), a na drugom svijetla.

Ova tri diapozitiva dolaze sada u „aparat za miješanje boja“, a na taj bacimo pramen bijele svjetlosti. Pred svaki diapozitiv smjestimo onu bojadisanu ploču, kroz koju je fotografovan. Ako sada sve

tri bojadisane slike, koje se na zastoru odjelito pokazaše (crvenu, zelenu i modroljubičastu) pomicanjem objektiva položim jednu na drugu, pokaže se na zastoru fotografija predmeta u prirodnim bojama.

Ives je konstruirao poseban aparat, kod kojega ne treba te tri slike baciti na zastor, nego se mjesto toga gleda slika kroz leću u aparatu. To je „Ivesov hromoskop". Slika 177. razjašnjuje taj zanimljivi aparat. *A*, *B* i *C* su crveno, zeleno i modroljubičasto stakla, na koja dolaze tri diapozitiva svaki na svoje staklo. Prve dvije slike rasvjetljuje bijela svjetlost, koja dolazi odozgo, a na treću *C* dolazi svjetlost sa strane, pošto se je odbila od *M*. Prva slika *A* šalje svoju crvenu svjetlost na prozračnu staklenu ploču *D*, a odonud dolazi u oko kroz leću *F*. Druga slika *B* šalje svoju zelenu svjetlost na isto takvu ploču *E*, a odavde ide kroz prozračnu ploču *D* u oko; treća napokon slika *C* šalje svoju modru svjetlost kroz ploče *E* i *D* u oko. Leća *F* sabire te zrake za oko, a ovo vidi sve tri slike jednu na drugoj u istoj daljini od oka. Ako je taki raspored načinjen i za drugo oko, a za to trebamo za svaku boju još po jedan diapozitiv (sl. 176.), onda vidimo sliku predmeta u prirodnim bojama i ujedno kao tijelo.

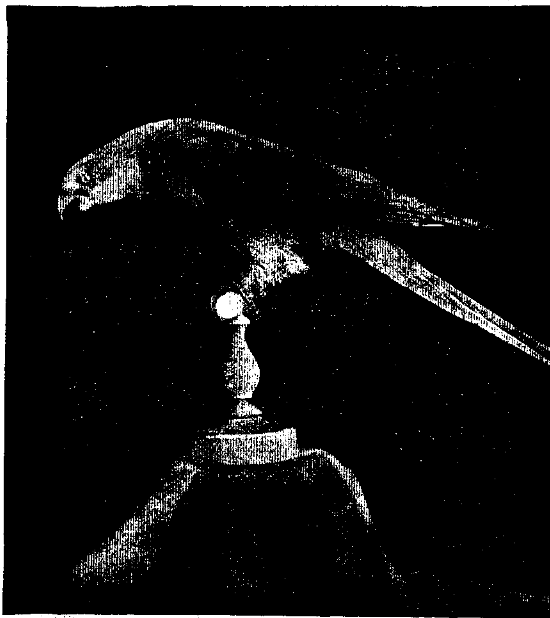


Sl. 177. Hromoskop.

Ovako je Ives dobio veoma krasnih fotografija u prirodnim bojama od različnih predmeta: kita cvijeća, košarica voća, slika na emailu, kutija cigara, kutija bonbona, papiga i dr.

Kasnije je Ives svoj postupak usavršio u tom, da predmet samo jedan put fotografuje, ali pred objektiv kamere dolazi staklena ploča, na kojoj su usporedno, jedna tik druge potegnute naizmjence crvene, zelene i modroljubičaste crte bojama, koje propuštaju svjetlost. Tim je dobio negativ isertan pravcima. Svaki je pravac čas svijetao, čas taman, već prema tomu, da li je ono mjesto predmeta slalo na nje svjetlost, koju je apsorbirao, ili propuštao. Od ovoga se negativa načini diapozitiv na staklu, koji je dabome takodjer isertan, ali su se svijetla i tamna mjesta crta izmijenila. Slike 178. pokazuje taki diapozitiv papige, pa kad se pred nju smjesti prije spomenuta šarena isertana ploča i kroz nju baci bijela svjetlost na diapozitiv, pokazuje se na zastoru slika papige u dosta živim prirodnim bojama.

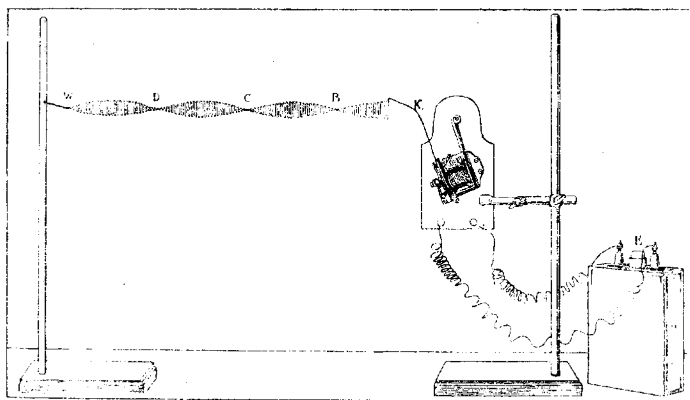
No ipak se mora priznati, da ovaj cijeli indirektni postupak fotografovanja u prirodnim bojama nije ono pravo, što mi od fotografije u prirodnim bojama ištemo: naime da se svaka zraka svjetlosti sama na slici zabilježi u svojoj boji. Ovu je zadaću upravo genijalnim načinom riješio bar u teoriji Lippmann u Parizu. Ne toliko poradi njezine praktične vrijednosti. nego više kao pravi i veliki triumf našega mišljenja o svjetlosti, vrijedna je svakako „Lippmannova metoda“ fotografovanja u prirodnim bojama, da je ovdje razložimo.



Sl. 178. Diapozitiv Ivesov.

Lippmann je umno upotrebio ukrštavanje (interferenciju) valova svjetlosti, da riješi svoj problem. Princip njegove fotografije razjasnit će najbolje ovaj pokus. Na batiću običnoga električnoga zvonca K (sl. 179.) privezan je konac, kojemu je drugi kraj privezan na stalku kod W. Ako se konac prilično, ali ne prejako, napne i batić s pomoću galvanskoga elementa B zanjiše, izvršuje on, kako je poznato, sasma jednake njihaje tamo i amo, kojih će priličan broj biti u svakoj sekundi. Zanjihat će se malo po malo i sve čestice konca i mi ćemo vidjeti, kako po konecu teče val za valom a svi idu k stalku.

Svi su jednako dugački i svi imaju jednake zamahe (amplitude), jer su i njihaji batića svi jednaki. U njihanju je batića dakle izvor valovitoga gibanja, koje se nekom brzinom rasprostire po koncu. Svaka čestica konca njiše na svom mjestu gore i dolje i izvršuje u sekundi baš toliko njihaja, koliko i batić. Po koncu teku prama kraju transverzalni (poprijećni) valovi, svaki sastavljen od dola i brijega (isp. str. 21.). No kad ti valovi dodju do stalka, oni se ne unište, nego se odbijaju natrag; dužina i zamah im se pri tom ništa ne promijene. Ti se odbiti valovi ukrštavaju sada s direktnima, koji još uvijek teku k stalku, i posljedak toga ukrštavanja pokazuje lijepo naša slika. Konac se je rastavio u više odjeljaka, koji sami za se njišu, a medju njima su točke, koje nigda ne njišu *W*, *D*, *C* i *B*.



Sl 179. Princip Lippmannova fotografovanja u prirodnim bojama.

To su „čvorovi vala“, pa kad se kojega od njih štapom dotakneš, ni najmanje se ne će ovo osobito gibanje konca promijeniti. U sredini izmedju dva čvora su točke, koje najžešće njišu, tako zvani „trbušci vala“, pa kad bi štapom dotaknuo taki trbušac, smjesta bi se čitavo pravilno gibanje konca pobrkalo. Dva susjedna odjeljka konca njišu svagda na suprotnu stranu: dok na pr. čestice izmedju *W* i *D* njišu dolje, njišu čestice izmedju *D* i *C* gore, i obrnuto. Pred nama je osobit slučaj ukrštavanja dvaju valova, koji teku na istoj zraci suprotnim smjerom. Oni se nikada ne unište, nego razdijele svagda cijeli konac u više manjih odjeljaka, koji odjelito njišu tamo i amo izmedju 2 čvora. Taki se valovi zovu „stojni valovi“, pak ih možeš na vodi osobito u lukama često vidjeti. Ono karakteristično zibanje morske

vode u luci postalo je istim načinom, ukrštavanjem direktnih i odbitih valova.

Ne treba istaknuti, da se ta karakteristična pojava stojnih valova javlja samo onda, kad su oba vala, direktni i odbiti, jednake dužine i jednakoga zamaha. Mjerenje je pokazalo, da je daljina dvaju čvorova svagda točno jednaka polovini dužine prvobitnih valova. Ovaki se stojni valovi za pravo javljaju i u svim izvorima tonova, na pr. kod žice na glasoviru, ili na guslama. Valovima, koji teku po žici, kad je udariš na kojem mjestu, priključuju se valovi odbiti od učvršćena kraja žice i ovi se sastavljaju u stojne valove u kojima se dakako broj titraja svake čestice posvema podudara s brojem titraja u izvoru vala.

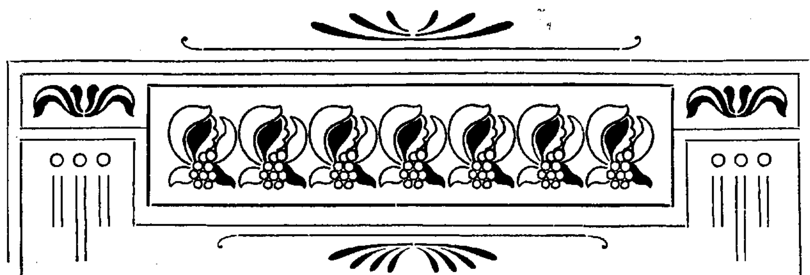
Ako je svjetlost zaista valovito gibanje etera, morali bi se i kod nje javljati ovaki stojni valovi i titraji, navlastito kad zraka svjetlosti okomito pada na ravno zrcalo, pak se odbija natrag u svoj vlastiti smjer. Ukrštavanjem tih dvaju valova morao bi eter ispred zrcala stojno titrati, t. j. na zraci bi moralo biti čvorova, koji nigda ne titraju, i trbušaca, gdje čestice etera najžešće titraju, jer su tu oba uvjeta za postajanje stojnih valova ispunjena: jednaka dužina i jednaki zamasi (amplitude) obaju valova. Tek je nekoliko godina, što je Otto Wiener (g. 1889.) pokazao, da zaista i kod ukrštavanja direktnih i odbitih valova svjetlosti postaju ovaki stojni valovi s čvorovima u daljini od pô dužine vala. Lako je i razumjeti, zašto su ti pojavi tako kasno otkriti: ta najduži val svjetlosti ima tek 0·820 mi, ili 820 milijuntina jednoga milimetra!

To je otkriće Wienerovo genijalno upotrebio Lippmann u Parizu za fotografovanje u prirodnim bojama. On je jednostavno nastojao, da unutar vrste srebrne soli na fotografijskoj ploči dodje do stojnih valova svjetlosti. Evo, kako je to izveo: Fotografijsku ploču s veoma jednoličnom i tankom vrstom srebrne soli namjestio je u kameri tako, da joj je stražnja (staklena) strana ležala na živi. Tim je postigao, da se je svjetlost veoma živo odbijala od stražnje strane ploče. Neka na ploču okomito padaju na pr. zrake žute svjetlosti, kojima je dužina vala 0·6 mi (μ). One idu kroz tanku vrstu soli i odbijaju se na stražnjoj strani ploče natrag u isti smjer, pak se sastavljaju s direktnim valovima u stojne valove, kod kojih će jedan čvor od drugoga, a i jedan trbušac od drugoga, daleko biti 0·3 mi, t. j. tri milijuntine jednoga milimetra! No na čvorovima nema titranja etera, dakle se ondje ne može ni srebrna sô rastvoriti; na

trbušcima je najžešće titranje eterskih čestica, tamo će se sô najjače rastvoriti. U čitavoj vrsti soli načinit će se naizmjence po jedna vrsta nerastvorene soli i jedna vrsta rastvorene soli (srebra). Kako je daljina čvorova i trbušaca jednaka 0·3 mi. bit će jedna vrsta srebra od druge daleko 0·3 mi, a i dvije nerastavljene vrste imat će istu daljinu. Čitavu je dakle fotografijsku vrstu naša žuta svjetlost razdijelila u čitav niz tankih listića, kojemu je svakomu debljina 0·3 mi! Nije li na našu ploču padala žuta svjetlost, nego na pr. crvena, bit će ti listići nešto deblji, naime 0·4 mi, jer je val crvene svjetlosti dugačak 0·8 mi, a kod modre će svjetlosti ti listići biti nešto tanji, naime 0·2 mi, budući da je dužina vala u takve svjetlosti 0·4 mi.

U našoj fotografijskoj ploči, priredjenoj ovako na pr. žutom svjetlošću, ima nekoliko stotina listića, debelih po 0·3 mi, pa ova ploča ima sada svojstvo, da se od nje odbijaju samo žute zrake svjetlosti, kojima je dužina vala jednaka 0·6 mi, jer samo će taki val kod puta tamo i natrag imati razliku puta od čitave dužine vala, naime 0·6 mi. Svaka zraka drukčije dužine vala, koja dodje do toga tankoga listića, više će se ili manje oslabiti kod odbijanja od nje, jer razlika putova nije jednaka baš punoj dužini njezina vala. No kako je na našoj ploči više stotina takih vrsta, to će se ovo slabljenje zraka drukčije boje takodjer postostručiti, a posljedak će biti, da će se iz bijele svjetlosti, koja pada na našu ploču, priredjenu žutom svjetlosti, izgubiti zrake svih drugih boja, a odbit će se od nje samo žute zrake: oko, koje iz neke daljine gleda takvu fotografijsku ploču, ne prima više odbitu bijelu, nego samo žutu svjetlost! Ako pak gledaš fotografijsku ploču, razdijeljenu u listiće crvenom svjetlošću, vidjet ćeš odbitu svjetlost samo crvenu, premda na ploču pada bijela svjetlost, itd.

Tim je fotografovanje u prirodnim bojama bar u principu riješeno! I zaista je Lippmann svoju fotografijsku ploču najprije ovako priredio, bacivši na nju sunčani spektar. Kad ju je običnim načinom razvio, fiksirao i osušio, pokazala mu se slika spektra u prirodnim bojama (1892.). Kasnije je fotografovao i cvijeće i barjake, a Lumiére g. 1893. čitav kraj i jednu osobu. No ipak se pokazaše tolike poteškoće kod ove Lippmanove metode (na Suncu treba 10 minuta izlagati, nesiguran je uspjeh, fotografije se ne mogu umnažati), da se ona ni danas nigdje u praksi ne upotrebljava. U opće je još pitanje, hoće li se praktično fotografovanje u bojama dalje razvijati na ovom ili na drugom kojem putu.



X.

Polarizacija svjetlosti.

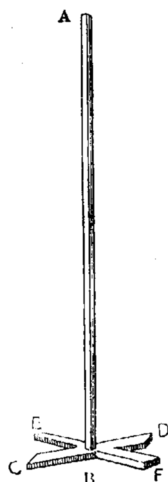
Razlika izmedju poprječnih i uzdužnih titraja. — Nepolarizovan i polarizovan val kod poprječnoga titranja. — Polarizovan val na užetu i modelu valova. — Prepoznavanje polarizovana vala. — Pretvaranje nepolarizovana vala u polarizovan: Polarizator i analizator. — Primjena na valove svjetlosti. — Dvostruko lomljenje svjetlosti. — Nikolov bridnjak. — Turmalin i turmalinska kliješta. — Svjetlost se pretvara u polarizovanu i odbijanjem od ravna zrcala. — Svjetlost je poprječno valovito gibanje etera. — Zakretanje ravnine polarizacije. — Rastopina šećera. — Kristali u polarizovanoj svjetlosti.

Kad prijazni čitatelji pročitaju riječ „polarizacija", lako da će ova nerazumljiva riječ u njima pobuditi mišljenje, kako se tu radi o veoma teškim stvarima, kojih oni ne mogu da razumiju, pak će ovaj članak rezignacijom, ili čak zlovoljom spram pisca prijeći. Krivo bi učinili i stvari i piscu. Nauke često upotrebljavaju ovakve teško razumljive riječi, da kratko označe veoma jednostavne ideje ili pojave. Pravo kaže Thompson, da je sva teškoća samo u tom pogoditi smisao ili značenje tih riječi, koje su upotrebljene, da se pojav opiše.

I riječ „polarizacija" je takva učena i na oko teško razumljiva riječ, dok joj je značenje zaista veoma jednostavno, pak ćemo to pokušati da pokažemo našim čitateljima.

Pojave svjetlosti, što ih do sada nadjosmo, dovele su nas do veličanstvene slike beskrajnoga oceana etera, u kojem užasnom brzinom od 300.000 kilometara u sekundi bježe fronte gotovo neizmjerno kratkih valića što za naše oko vidljive, što nevidljive svjetlosti, a svaka čestica etera pri tom izvršuje neizmjerno brze titraje,

njih po više stotina bilijuna u svakoj sekundi. Sve to sada dosta jasno razbiramo duševnim okom našim i s počitanjem pomišljamo na odabrane duhove čovjekova roda, koji nam tu sliku izradiše. No i u toj slici još nije sve dotjerano: jedno je dosta veliko pitanje do sada ostalo netaknuto. Kód valova na vodi nadjosmo, da sve čestice vode titraju svagda okomito na zraku, vodeni su valovi, rekla bi nauka, poprijećni ili transverzalni i svaki sastoji od brijega i dola: takvi su bili i valovi na vrvcama i užetima (isp. str. 22.). Kod zvučnih pak valova sve čestice uzduha titraju samo u smjeru zrake, zvučni su valovi uzdužni ili longitudinalni i svaki sastoji od zgusnute i rastanjene vrste (isp. sl. 22. i 25.). A kako titraju čestice etera u valovima svjetlosti, poprijećno (transversalno) ili uzdužno (longitudinalno)? Unaprijed pogadjamo, da je to pitanje dosta teško. Okom ne možemo da odlučimo o tom, jer su ti valovi tako maleni, a titraji tako brzi, da ne može biti ni govora o tom, da bi oko moglo slijediti te titraje eterskih čestica na zraci.



Sl. 180.
Uzdužan val.

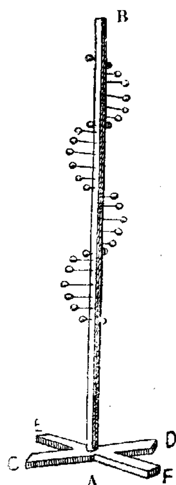
Pita se dakle, ne bi li nam valovi svjetlosti ipak mogli kojim drugim indirektnim načinom odati, kako titraju čestice etera, transverzalno, ili longitudinalno?

U nastojanju stručnjaka, da na to pitanje odgovore, postala je baš riječ „polarizacija."

Ima li nešto, u čem se poprijećni valovi na oko razlikuju od longitudinalnih? Ova će nam dva štapa naslikana u slici 180. i 181. na to zgodno odgovoriti. Osovni štap *AB* neka uočuje smjer, u kojem se valovito gibanje rasprostire na pr. odozgo dolje, dakle ono, što zovemo „zraka vala." Ako uzmemo, da u njem sve čestice titraju tamo i amo u smjeru *AB*, pred nama bi bio uzdužan (longitudinalan) val. Kad bismo mi to titranje čestica tjelesnim okom našim mogli sa strane gledati, i pri tom štap okretali oko njegove osovine, vidjeli bismo sa svih strana isto: titranje čestica gore i dolje; gledaš li štap na pr. u smjeru *CD*, ili pak u smjeru *FE*, okomitom na predjašnjem, ne ćeš vidjeti nikakve razlike na zraci u jednom i u drugom položaju. Sasvim će drukčije biti, ako čestice štapa titraju okomito na smjer valova, kako to eno pokazuju kuglice utaknute u štap u slici 181. Kuglice nam označuju mjesta

čestica, koje titraju u nekom odredjenom času, i[mi vidimo dva potpuna popriječna vala na štapu. Sve čestice titraju u smjeru *CD* tamo i amo. Ako sada štap gledaš u smjeru *CD*, očito ćeš u tom smjeru opaziti titraje, ako ga pak gledaš u smjeru *FE*, okomitu na predjašnjem, ne ćeš ih u tom smjeru opaziti. Mogle bi sve čestice i u smjeru *FE* titrati: onda bismo, gledajući štap u tom smjeru, vidjeli titraje, a gledajući ga u smjeru *CD*, ne bismo ih opazili. U jednu riječ:

Kod uzdužnih valova sve su strane zrake jednake vrijednosti, kod popriječnih valova nisu. Ako kod popriječna vala zraku gledaš u onom smjeru *CD*, u kojem sve čestice na zraci titraju, opazit ćeš to titranje, ali u smjeru *EF*, okomitu na *CD*, ne ćeš opaziti nikakva titranja.



Sl. 181.
Popriječan val.

Primijenimo taj rezultat na zraku svjetlosti. Ako je svjetlost sastavljena od uzdužnih valova (longitudinalnih), ne ćeš na njoj moći ni u čem razlikovati jednu stranu zrake od druge, ni jedan se smjer ne razlikuje od drugoga: sa svih strana gledana pokazuje zraka isto titranje eterskih čestica u smjeru njezinu. Ako je pak u zraci svjetlosti gibanje eterskih čestica popriječno (transverzalno), pak ako još k tomu sve čestice etera na toj zraci titraju u istom smjeru (kao na pr. na štapu u slici 181. u smjeru *CD*), pokazuje se razlika u stranama zrake, ako je okrećeš oko njezine osovine: onaj smjer, u kojem se zbivaju titranja, različan je od smjera okomita na nj! Ta bi nam se pak razlika možda mogla nekako i odati, kad bismo zaista zraku mogli okretati oko njezine osovine.

No pri tom treba da osobito naglasimo: sve bi čestice etera na toj zraci zaista morale transverzalno titrati u istom smjeru, kao što to bijaše na našem štapu. Kad bismo pak imali na pr. 100 eterskih čestica, koje titraju u smjeru *CD*, a drugih 100 čestica, koje titraju u smjeru *FE*, jasno je, da nam se ne bi ni u čem odala razlika izmedju smjera *CD* i *FE*, akoprem su pred nama popriječni valovi etera. Po gotovo pak ne bi bilo nikakve razlike izmedju strana zrake, kad bismo na njoj imali treću, četvrtu, petu . . . stotinu eterskih čestica, koje bi popriječno titrale

u drugim smjerovima izmedju smjerova *CD* i *FE;* mogli bismo onda okolo na okolo okretati zraku: ni u kojem smjeru ne bismo opazili razlike, a ipak je titranje svih eterskih čestica na zraci poprijećno! Treba dakle to osobito istaći, da se zraka svjetlosti ne mora s različnih strana drukčija pokazivati, sve ako i jesu u njoj poprijećni titraji eterskih čestica; ta će se razlika isticati tek u jednom osobitom slučaju, a taj je, da sve čestice etera na toj zraci titraju poprijećno, ali osim toga još i sve u istom smjeru, kao na pr. kod našega štapa u smjeru *CD.*

Takvoj pak zraci vala, na kojoj sve čestice titraju poprijećno, ali sve u istom smjeru (u istoj ravnini), dala je nauka ime „polarizovana zraka vala." Riječ „polarizacija" dakle ne će ništa drugo da reče, nego da sve čestice na zraci vala titraju poprijećno, ali sve u istom smjeru!

Uzmimo na pr. naš model za valove (sl. 4.). Kad ručicu zavrtiš, titraju sve kuglice poprijećno, i to osovno gore i dolje: pred nama je poprijećan val, koji je „osovno prolarizovan", jer zaista sve kuglice titraju osovno gore i dolje. Kad bismo model prevrnuli, pak onda ručicu vrtjeli, imali bismo poprijećan val, koji je „horizontalno (vodoravno) polarizovan".

I naše napeto uže u slici 10. može nam pokazati takve „polarizovane" valove. Idem li rukom na prednjem kraju nekoliko puta samo osovno gore i dolje, smjesta će po užetu teći transverzalni valovi jedan za drugim, ali sve će čestice užeta, svaka na svome mjestu, takodjer titrati gore i dolje kao i ruka: po užetu ide poprijećan val, koji je „osovno polarizovan". Idem li pak rukom s desna na lijevo, titrat će i sve čestice užeta s desna na lijevo: pred nama teče po užetu „horizontalno polarizovan" val; da sam pak ruku pomicao koso odozgo dolje i obrnuto, titrale bi i sve čestice užeta koso gore i dolje, pred nama bi bio „koso polarizovan" val.

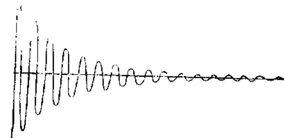
Ako dakle fizičar kaže: ovo je „horizontalno polarizovan val", on pri tom ne misli ništa drugo, nego da sve čestice titraju s desna na lijevo okomito na zraku vala!

Sad nam se dakako nameće ovo pitanje: Ako čestice etera na zraci svjetlosti zaista titraju transverzalno, t. j. okomito na zraku, titraju li sve te čestice u istom smjeru, ili ne? Ako bi sve čestice etera na istoj horizontalnoj zraci svjetlosti zaista tritrale na pr. odozgo dolje, bila bi i zraka svjetlosti „polarizovan val"

i to „vertikalno (osovno) polarizovan“ val, baš kao val našega užeta. Ne titraju li sve čestice etera na našoj zraci odozgo dolje, nego neke odozgo dolje, druge s desna na lijevo, treće koso u različnim smjerovima, morali bismo reći, da je ta naša zraka svjetlosti „nepolarizovana.“ To bismo isto morali reći, kad bismo na pr. našli, da nam doduše čestice etera na našoj zraci u nekom času zaista titraju gore i dolje, ali čas kasnije te iste čestice titraju s desna na lijevo, a opet čas kasnije koso gore i dolje. I to bi bila „nepolarizovana svjetlost.“

No tko da pogodi, kako je kod svjetlosti, kad znamo, da su joj valovi tako neizmjerno kratki, a pojedine čestice etera izvršuju bilijune titraja u svakoj sekundi!

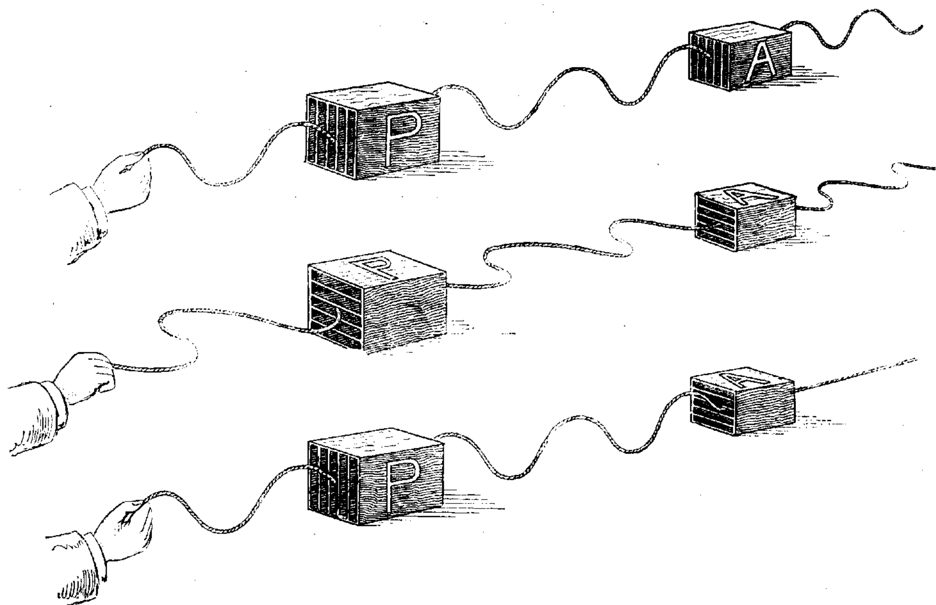
Malo razmišljanja dovest će nas ipak do odluke! Promislimo samo, kako dolazimo do svjetlosti, na pr. do električne svjetlosti izmedju dva šiljka ugljena, koja izlazi iz električne lampe. Čestice ugljena, usjana do bijele žari, udaraju velikom žestinom jedna o drugu, pa kako same pri tom njišu, prenose titranje i na eter oko sebe, a u njem postaju valovi, koji se rasprostiru na sve strane. Kad dobije koja čestica iznenada taki žestok udarac, zadrhtat će žestoko, ali ne jedan, nego mnogo puta sa sve manjim zamasima: titraj se utišava, kako nam lijepo pokazuje slika 182. Po istraživanjima Fizeaua bilo bi poprijeko kod obične svjetlosti bar 50.000 takvih drhtaja, koji su sve slabiji, a po Michelsonovim novijim istraživanjima njih nekoliko milijuna kod svoga udarca. No svaki bi taki drhtaj eterske čestice ipak naskoro umro, kao što i glas udarene žice na glasoviru skoro umre, ako ga pustiš, da zveči do kraja. No prije nego što će umrijeti ovo drhtanje čestice, doći će ponovni udarac i on će česticu potaknuti na novo titranje u drugom novom smjeru, a i to će titranje polako umrijeti. Pomislite milijune takih najmanjih čestica, sve titraju tamo i amo u svim mogućim smjerovima, a svaka šalje valove u izvanji eter. Ne bi li bilo pravo čudo, da u zraci svjetlosti čestice etera titraju uvijek u istom smjeru? Ne moramo li pače unaprijed zaključiti, da ćemo u zraci obične svjetlosti imati veoma zamršenu smjesu svih mogućih smjerova titranja eterskih čestica, sve ako i jesu svi ti titraji okomiti na zraci? Ista će čestica etera čas gore dolje, čas desno lijevo, čas koso gore i dolje



Sl. 182. Utišavanje titraja.

titrati, u jednu riječ, obična, prirodna svjetlost ne može da bude „polarizovana“, sve ako i jest titranje eterskih čestica na zraci okomito. Obična je svjetlost svakako „nepolarizovana!“

Ako pak čestice etera u prirodnoj svjetlosti ne titraju neprestano u istome smjeru, možemo sada istaći pitanje: ne bismo li mogli prisiliti čestice etera, da bar neko vrijeme sve titraju u istom smjeru, pak da se tako „nepolarizovana“ svjetlost pretvori u „polarizovanu“, koja bi nam se onda možda kako odala, kad bismo zraku okretali.



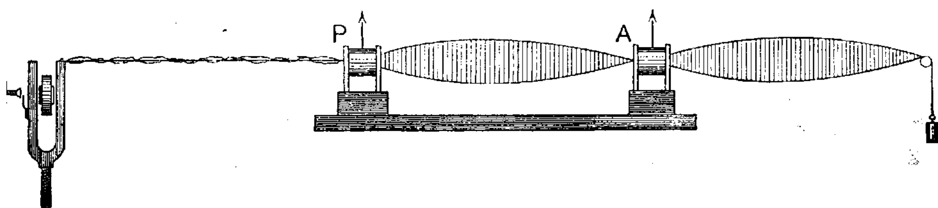
Sl. 183.—185. Postajanje polarizovana vala.

A mogao bi nam se polarizirani val zaista dosta lako odati.

Thompson je to lijepo pokazao na valovima, koji teku po užetu.

Uže (sl. 183.) ide kroz ormar *P* s osovnim pretincima. Ovi pretinci ograničuju dakako titranja čestica na užetu i propuštaju samo osovno titranje užeta. Ako ispred ormara pomičem na pr. ruku koso gore dolje, ne mogu da prolaze ti kosi titraji kroz ormar: kroza nj ide samo osovna komponenta tih titraja. Kad je val prošao kroz ormar, on je „osovno polarizovan“, dok je prije toga mogao imati bilo koji drugi smjer. Prevrnem li ormar *P* (kao u slici 184.)

propuštat će on samo horizontalne titraje; val, koji iz njega izlazi, bit će na svaki način „horizontalno“ polarizovan, pa bio on prije ulaza u ormar kojega mu drago kosoga smjera. Što će biti, ako uže pošaljemo kroz drugi ormar, sličan ovomu? To očito zavisi samo o položaju drugoga ormara spram prvoga. Ako je prvi ormar *P* sa svojim pretincima osovno postavljen (sl. 183.), izlaze iz njega valovi i marširaju do drugoga ormara *A*; sve čestice užeta titraju gore dolje, val je dakle „osovno“ polarizovan. Ako su pretinci drugoga ormara *A* takodjer osovno postavljeni, jasno je, da će ovi osovni valovi bez ikakve zapreke prolaziti i kroz drugi ormar *A*, baš kao da ga tamo i nema (sl. 183.). Ako pak oba ormara izvrneš (kao u slici 184.), e onda će iz prvoga ormara *P* izaći horizontalno polarizovan val (t. j. sve čestice užeta titraju s desna na lijevo), a ti valovi opet prolaze bez ikakve zapreke kroz horizontalne pretince drugoga ormara *A*. No ako sam prvi ormar *P* namjestio osovno,



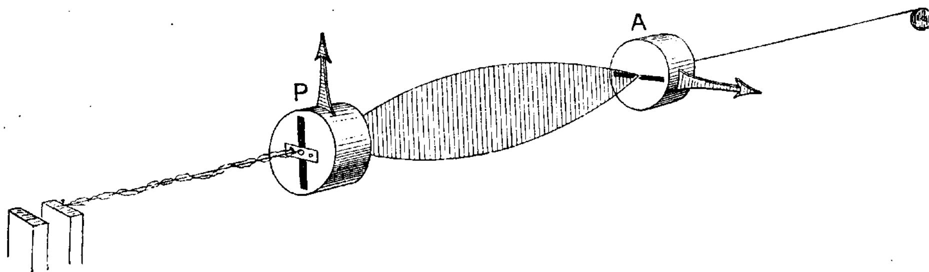
Sl. 186. Propuštanje polarizovana vala.

a drugi *A* horizontalno (slika 185.), onda ćemo vidjeti sasma nov pojav: vertikalno polarizovane valove, koji iz prvoga ormara izlaze, drugi ormar *A* jednostavno prekine i uništi, on ih ne propušta; uže je s onu stranu ormara sasvim ravno!

Ovo je za nas u taj čas veoma važan pojav. Što izvodi prvi ormar *P*? On pretvara kose valove užeta u takove, gdje sve čestice užeta titraju osovno gore i dolje, on valove „osovno polarizuje.“ Ako je sada drugi ormar *A* sa svojim pretincima „usporedno“ postavljen s pretincima ormara *P*, propušta on valove; ako su pak njegovi pretinci okomiti spram pretinaca ormara *P*, ne propušta ih, nego ih uništi.

Thompson je još jedan lijepi model sastavio, koji ovaj pojav polarizovanih valova još bolje pokazuje. Svilena je vrvca (sl. 186.) jednim krajem svezana o akustičnu vilicu. Transversalni se titraji i valovi na toj vrvci izvode — ne rukom — nego pravilnijim i mnogo

bržim titrajima vilice, koju tjera elektromagnet. Na drugom je kraju utega i ta napne vrvcu toliko, da se na njoj jave stojni popriječni valovi. Kako bi se titraji vrvce „polarizovali", t. j. prisilili, da idu svi istim smjerom, na pr. svi gore i dolje, ili pak s desna na lijevo, ograničeni su oni pomoću dvaju parova staklenih ploča, utaknutih u drven valjak (*P* i *A* u sl. 186. i 187.). U prvom se čvoru stojnoga vala namjesti jedan par takih pločica *P* (sl. 186.). Čestice vrvce s ovu stranu od *P* titraju osovno gore i dolje, jer ih je na to prisilila osovna pukotina u *P*. Kazalo na drvenom valjku *P* pokazuje taj smjer titranja. Drugi par staklenih ploča u valjku *A* namješten je u drugom čvoru vala. Ako i ovaj valjak postavim s pukotinom osovno (kao u sl. 186.), propušta on valove neoslabljene. No čim valjak *A* okrenem za 90°, tako da je njegova pukotina



Sl. 187. Uništavanje polarizovana vala na užetu.

horizontalna, dakle i okomita na titraje vrvce (sl. 187.), titranje je vrvce sasvim uništeno: vrvca je s onu stranu ploče *A* sasvim ravna!

Budući da je valjak *P* valove vrvce „polarizovao", možemo mu zgodno dati ime „polarizator valova." Drugi pak valjak *A* pokazao nam je svojim kazalom smjer, u kojem titrahu čestice polarizovana vala, pak mu možemo zgodno dati ime „analizator vala" ili možda još bolje „analizator titraja." Kad bismo sada htjeli naše pokuse o polarizovanim valovima skupiti u jedno, rekli bismo:

Ako imamo pred sobom popriječan val na užetu, pak su polarizator i analizator usporedno namješteni, prolaze titraji polarizovana vala neoslabljeni kroz analizator; ako su pak polarizator i analizator medjusobno okomito namješteni, titraji se prekinu i unište.

Mi dakle možemo sada velikom točnošću odrediti smjer titranja u svakom valu, koji je iz polarizatora izišao. Trebamo samo analizator tako namjestiti, da on ili titraje propušta neoslabljene, ili ih pak sasvim uništi; jedan nam i drugi položaj točno kazuje, u kojem smjeru titraju čestice polarizovana vala.

Jamačno je sada svakomu na pameti misao, ne bismo li mi i s valovima svjetlosti mogli baš ovako eksperimentirati? Ne bismo li i njih mogli kakvim „polarizatorom" prisiliti, da sve čestice etera i na zraci svjetlosti titraju u istom smjeru, ne bismo li dalje mogli kakvim „analizatorom" odrediti taj smjer? To bi bio velik uspjeh! U jedan bi mah tim pokusom bilo pitanje o titranju etera riješeno. Jasno je naime, da bi se tim pokusima dokazalo, da titraji etera kod svjetlosti moraju biti poprječni (transversalni), budući da kod uzdužna titranja takvih pojava ne može da bude; kod njega je svaka zraka sa svih strana jednaka.

I zaista su fizičari našli i izumjeli pokuse, koji nedvoumno potvrdjuju i za valove svjetlosti sve, što čas prije vidjesmo na valovima vrvce. Ima i za valove svjetlosti i „polarizatorâ" i „analizatorâ!" Posvetimo časak pažnje ovomu novomu i velikomu slavlju čovjekova uma u području tako sitnih i brzih valova svjetlosti. Ne će nam biti žao!

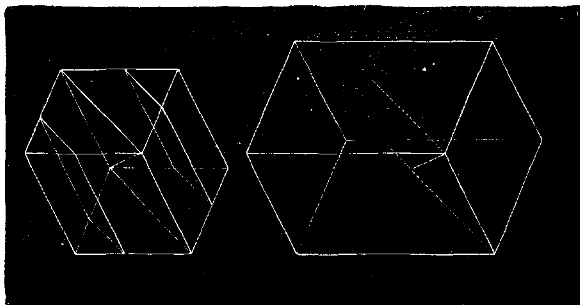


Sl. 188. Islandski dvolomac.

Ako nam kojim slučajem dospije u ruke komad prozračnoga vapnenca, koji je dobro poznat uz ime „islandski dvolomac" (sl. 188.), pa ga položimo na pismena, ne malo ćemo se začuditi, kao što se je začudio i kaludjer Erasmus Bartholinus g. 1669., kad opazimo, da vidimo svako slovo dvostruko. Svaka se zraka svjetlosti, koja ulazi u taj vapnenac, očito cijepa u dvije zrake, i svaka zraka ide svojim putem kroz ledac, pa tako dolaze rastavljene i u naše oko. Pred nama je dakle prozračno čvrsto tijelo (ledac ili kristal), u kojem se svjetlost ne otklanja samo, kao u običnih prozračnih tjelesa, od svoga smjera po poznatom zakonu lomljenja, nego se rastavlja u dvije zrake. Poradi toga dajemo tomu novomu pojavu, koji nam je za čas još posvema nerazumljiv, i novo ime „dvostruko lomljenje svjetlosti." Ima takih kristala dosta velik broj, no ni u kojem se pojav ne pokazuje tako jako, kao u dvo-

lomcu, koji se kopa samo na Islandu, pak je poradi toga danas već veoma skup.

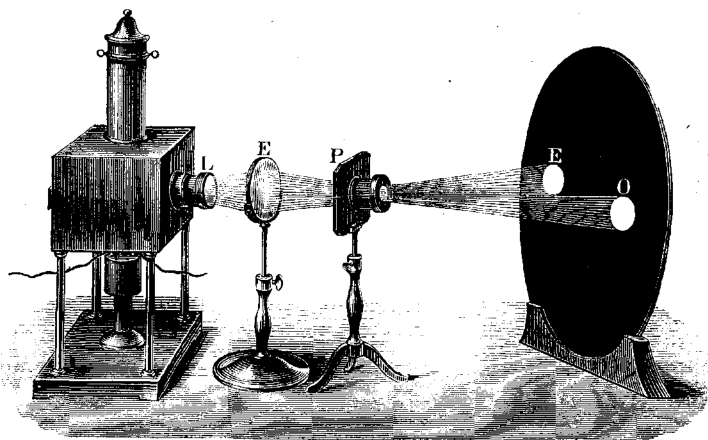
Kristali imaju svojstvo, da se veoma savršeno i lako kalaju, pak im možemo dati točno geometrijske oblike, najzgodnije za proučavanje ovoga novoga pojava. Kristali su „romboedri" (sl. 189.), a plohe su im sasvim pravilne i jednake kose četvorine (rombi). Pomoću takova kristala možeš zanimljivi pojav dvostrukoga lomljenja lijepo pokazati. Iz lampe *L* (ili heliostata; sl. 190.) izlazi pramen zrakâ iz okrugle rupe. Leća *E* dala bi na zastoru oštru sliku rupe. U put pramenu smjestimo dvolomac *P*. Vidimo, kako on pramen svjetlosti rastavlja u dva pramena, i na zastoru vidimo dvije okrugle svijetle pjege *O* i *E*. Ako je svjetlost okomito padala na jednu plohu kristala, jedna je pjega *O* baš na onome mjestu zastora, gdje je bila



Sl. 189. Romboedri islandskoga dvolomca.

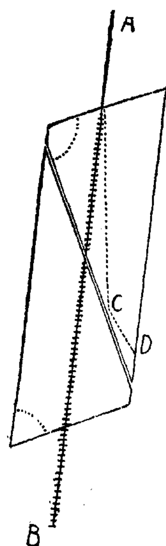
slika rupe *L* i bez dvolomca — dokaz, da je taj dio svjetlosti prema zakonima običnoga lomljenja neslomljen prošao kroz kristal, kao kroz staklenu ploču. No polovina se svjetlosti odvojila od predjašnje svijetle pjege i daje po strani u točki *E* drugu sliku rupe. Ako se sada kristal po malo vrti oko svoje horizontalne osovine, vidjet ćeš, da slika *O* ostaje na svome mjestu, dok se slika *E* oko nje u krugu okreće. Izlazi dakle, da se pramen svjetlosti *O* pokorava Snellovu zakonu lomljenja („okomit pramen svjetlosti prolazi neslomljen", str. 182.), dok se pramen *E* tomu zakonu ne pokorava. Poradi toga dajemo prvomu *O* ime „redoviti" (ordinarni) pramen svjetlosti ili takodjer „redovita zraka svjetlosti", a drugomu *E* ime „izvanredni" pramen ili „izvanredna zraka svjetlosti" (ekstraordinarna).

Oba su pramena svjetlosti fizičari pomno ispitivali, no nas zanima tek jedno otkriće njihovo: dokazali su, da se je pramen obične svjetlosti kod razdvajanja pretvorio u dva pramena, kod kojih se jasno pokazuje čas prije opisani pojav polarizacije, t. j. u jednom i u drugom pramenu titraju sve čestice etera samo u jednom smjeru, — ali ne u istom! Ako na pr. sve čestice etera u redovitoj zraci titraju horizontalno, titrat će sve čestice etera na izvanrednoj zraci osovno (vertikalno). Kristal je dvolomca dakle u našem pokusu bio ono, što prije bijaše naš ormar *P* s pretincima, naime polarizator valova obične svjetlosti, i dao nam je odmah čak dva polarizovana vala! Kako da se o tom uvjerimo?



Sl. 190. Dvostruko lomljenje svjetlosti u islandskom dvolomcu.

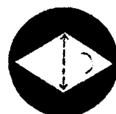
Nezgodno nam je kod daljega izučavanja ovoga važnoga otkrića, što nam iz kristala izlaze dva pramena zrakâ. Kako da uklonimo jedan pramen? To je već prije 85 godina pogodio škotski fizik Nicol (čit. Nikol), i to veoma umno. Razrezao je običan dugoljasti ledac dvolomca kroz sredinu, kako pokazuje slika 191., i slijepio je opet obje polovine prozračnim kanadskim balzamom. Tijem je postigao ovo: Zraka obične svjetlosti *A* razdijeli se na ulazu u kristal u obje zrake *AB* i *AC*; *AB* je izvanredna, *AC* redovita. Prva dolazi do vrste balzama, prodje kroz nju i kroz donji dio kristala i izlazi kod *B*. Druga zraka *AC* pak pada na balzam tako koso, da se već ne lomi, nego se od njega totalno odbija (str. 187.) na stranu u smjeru *D*. Nicol je baš poradi toga uzeo kanadski balzam i kristal



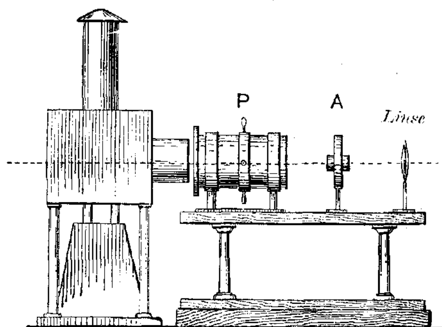
Sl. 191. Nikolov bridnjak ili kraće „nikol".

tako razrezao, da se redovita zraka totalno odbije od vrste balzama. Zraka *CD* ne izlazi dakle iz kristala, nego se apsorbira u crnom oklopu, u koji je čitav kristal utaknut. Tako je postala glasovita „Nikolova prizma", ili kraće „nikol", iz kojega svagda izlazi samo jedna zraka i to izvanredna, i s njim se sada veoma zgodno može ta zraka dalje ispitivati. Nikol u svom crnom oklopu izgleda, kad ga gledaš sprijeda, kao u slici 192.; vidiš kosu četvorinu s kraćom (odozgo dolje) i dužom (s lijeva na desno) diagonalom, koje su jedna na drugoj okomite.

Spomenusmo, da zraka svjetlosti, koja izlazi iz nikola, odaje svojstvo polarizacije. U valovima svjetlosti, koji kroz nikol prodjoše, titraju naime sve čestice etera samo u smjeru male diagonale, kako pokazuje strjelica, a u svjeslosti redovitoga pramena, koji je u nikolu ugušen, titrale bi sve čestice etera u smjeru veće diagonale. Kako da se o prvom dijelu naše tvrdnje uvjerimo? Miesto dvolomca namjestimo u smjer obične svjetlosti, koja dolazi od lampe (sl. 193.), velik nikol *P* u njegovu crnu oklopu tako, da mala diagonala stoji osovno. Iz njega izlazi svjetlost i daje na zastoru negdje iza leće svijetlu sliku kose četvorine. Okom svojim ne bismo mogli suditi, da je ta svjetlost i u čem različna od svjetlosti lampe. No mi ipak tvrdimo, da je od nje različna u tom, što sve čestice etera u tim valovima svjetlosti titraju u istom smjeru i to osovno gore i dolje u smjeru male diagonale!


Sl. 192. Prorez Nikolova bridnjaka.

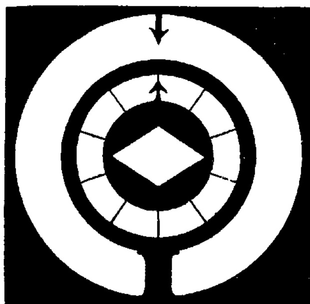
A dokaz tomu? Baš kao i kod valova na užetu! Ako je istina, da je nikol *P* prisilio sve čestice etera, da titraju samo osovno gore i dolje, mora nam se to odati, ako uzmemo u pomoć drugi



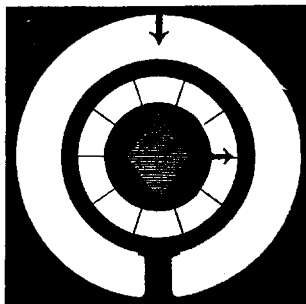
Sl. 193. Valovi svjetlosti polarizovani pomoću dvaju nikola.

manji nikol *A* kao analizator. I on će naravno imati svojstvo, da propušta samo titraje, koji idu smjerom njegove male diagonale. I neočekivana se pojava zaista pokazala: kad je analizator *A* tako stajao, da je i njegova mala diagonala bila osovna (kao u slici 194.), prolazili su valovi svjetlosti, koji izadjoše iz prvoga nikola, neoslabljeni i kroz drugi nikol: oba bijahu prozračni kao staklo. No ako se analizator *A* okrene za 90° (kao u slici 195.), utrne, i ako je prozračan kao staklo, sve valove svjetlosti, koji izadjoše iz prvoga nikola, i na zastoru je potpuna tama! Valovi svjetlosti u novom položaju analizatora ne mogu kroza nj!

To nam uništenje svjetlosti kod okretanja za 90° odaje o svjetlosti veliku tajnu: svjetlost iz prvoga nikola je polari-



Sl. 194. Svijetlo polje kod usporednih nikola.



Sl. 195. Tamno polje kod ukrštenih nikola.

zovana. Dok su obje male diagonale usporedne, svjetlost prolazi neoslabljena kroz drugi nikol, na zastoru je svijetla slika. No kako počnem analizator okretati, postaje slika sve slabija i slabija, a kad su obje male diagonale okomite, nestalo je slike, na zastoru je tama. Kako se taki pojav „polarizacije“ nikako ne može da javi kod uzdužnoga (longitudinalnoga) titranja, nego samo kod poprječnoga (transverzalnoga), mi moramo sada iz ovoga sjajnoga pokusa izvoditi: u valovima svjetlosti titraju čestice etera okomito na zraku, t. j. transverzalno! I tako evo prisilismo neizmjerno malene i neizmjerno brze nevidljive valiće svjetlosti, da nam ipak sami kažu, kako u njima titraju čestice etera. Nije li to sjajan triumf?

Ustavimo se još časak kod njega. Iz lampe padaju zrake obične bijele svjetlosti horizontalno na prvi veliki nikol *P*. Čestice etera na svakoj zraci titraju doduše svagda okomito na zraci, dakle popriječno (transverzalno), ali im se smjer titranja veoma brzo mijenja: čas titraju osovno, čas horizontalno, čas pak koso gore i dolje u svim mogućim smjerovima, — u jednu riječ: zraka je obične svjetlosti „nepolarizovana". Što radi prvi veliki nikol *P*? On nije ništa drugo nego „polarizator" tih valova svjetlosti. On prisili čestice etera, da sve titraju samo u smjeru male diagonale: valovi svjetlosti izlaze iz njega „polarizovani" u smjeru male diagonale. A što radi drugi manji nikol? On nije drugo, nego „analizator" tih valova svjetlosti: on nam kazuje, u kojem smjeru titraju sve čestice etera. Budući da propušta svu svjetlost samo onda, kad mu je mala diagonala usporedna s malom diagonalom velikoga nikola, zaključujemo, da sve čestice polarizovana vala titraju baš smjerom te male diagonale.

U jednu riječ: prvi veliki nikol nam služi za to, da običnu prirodnu svjetlost „polarizuje", on je „polarizator", a drugi nam manji nikol služi za to, da tu svjetlost prepoznamo kao polarizovanu, budući da nam naše oko toga nikako ne odaje, — on je „analizator". Drugi nam nikol upravo savršenim načinom odaje polarizovanu svjetlost: kad su male diagonale usporedne, propušta je posvema, kad su pak unakrst (t. j. čine kut od 90°), uništi je posvema.

Kad bismo dakle htjeli od sada ispitati bilo koji pramen svjetlosti, je li polarizovan, ili nije, metnuli bismo mu u put naš manji nikol, pak bismo ga okretali oko osovine pramena: ako je u svakom položaju svom propušta, pramen je svjetlosti bio „nepolarizovan", ako je pak u jednom položaju propušta, a u drugom okomitom uništi, pramen je svjetlosti bio „prolarizovan".

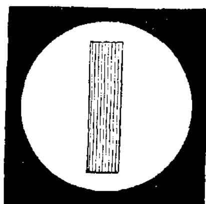
Mi pače znamo još i više o toj polarizovanoj svjetlosti: sve čestice etera titraju svagda u smjeru male dvokutnice (diagonale) našega nikola.

Kad je Erasmus Bartholin prije 235 godina otkrio dvostruko lomljenje svjetlosti, nije za stalno mogao ni slutiti, da će nam ikada komad dvolomca ovakve tajne o sitnim valićima svjetlosti odati!

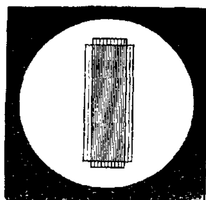
No na mjestu je pitanje, je li skupi dvolomac jedini kristal, koji sili čestice etera, da sve titraju u istom smjeru, t. j. je li dvolomac jedino prirodno tijelo, koje običnu, nepolarizovanu svjetlost

umije pretvoriti u polarizovanu, pak je li on dalje jedino tijelo, koje nam može odati, jesu li zrake svjetlosti polarizovane, ili nijesu? U jednu riječ: je li dvolomac jedini polarizator *(P)* i analizator *(A)* za zrake svjetlosti?

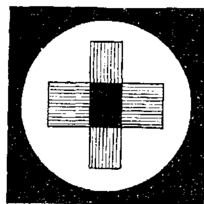
I na ta je pitanja odgovorilo eksperimentalno ispitivanje. Uz ime „turmalin" poznat je tamno zelenkast ili sur dragi kamen, koji svjetlost dosta propušta, ako se izreže u tanke pločice obično pravokutnoga oblika (sl. 196.). Metnimo taku pločicu turmalina u put svjetlosti iz električne lampe, koja ide na zastor. Svijetla je pjega mnogo tamnija, jer turmalin proguta više od polovine svjetlosti, ali je svjetlost, koja je iz njega izišla, „polarizovana": naša tanka pločica turmalina takodjer je polarizator svjetlosti, ona je sve čestice etera prisilila, da titraju usporedo s dužom stranicom pravokutnika. Dokaz tomu? Druga isto takva pločica tur-



Sl. 196. Pločica turmalina u okviru.



Sl. 197. Dvije pločice turmalina u usporednu položaju.



Sl. 198. Dvije pločice turmalina unakrst.

malina smjesta će nam to odati. Položimo ju na prvu pločicu kao u slici 197., t. j. duže stranice usporedno jednu drugoj. Svjetlost prolazi i kroz drugu pločicu i na zastoru vidiš nešto tamniju sliku obiju pločica. Okrenimo sada jednu pločicu za 90° kao u slici 198. Ne prolazi eno ni malo svjetlosti na onome mjestu, gdje su pločice jedna iznad druge: polje je sasvim tamno, kad pločice stoje unakrst!

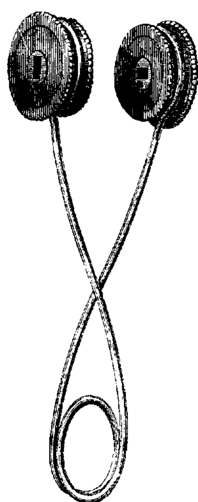
Prva je pločica turmalina dakle „polarizator" svjetlosti, a druga je „analizator". Ova nam naime odaje, da čestice etera zaista titraju usporedo s dužom stranicom pločice.

Ovake se dvije pločice turmalina često namjeste na kraj savite žice (Sl. 199.) u kolutima, koji se mogu vrtjeti, pak dobivaš tijem najjednostavniji aparat za pokuse o polarizovanoj svjetlosti: zovu ga „turmalinske kliješte." Kad su duže stranice usporedne,

prolazi svjetlost kroz obje pločice, „vidno je polje svijetlo“; kad su duže stranice okomite jedna na drugoj („unakrst“ ili „prekrštene“), „vidno je polje tamno“, druga pločica ne propušta ništa svjetlosti.

Još ćemo jedno sredstvo opisati za prepoznavanje te polarizovane svjetlosti, koja se oku našemu ni u čem ne odaje!

Iz dvolomca *B* u slici 200. izlaze obje zrake, redovita *o* i izvanredna *e*. Svjetlost, koja dolazi iz lampe *N*, još nije polarizovana; no obje zrake *o* i *e* jesu polarizovane; to bi nam s mjesta pokazalo ispitivanje s našim malim nikolom, koji bismo mogli upotrebiti za analizator. On bi nam pače i to odao, da čestice etera u izvanrednoj zraci titraju u smjeru male diagonale njegove, a u redovitoj u smjeru velike. No mi ne ćemo, da ponavljamo poznate pokuse, nego hoćemo da nadjemo nove pojave.



Sl. 199. Turmalinske kliješte.

U put zrakama *o* i *e* namjestim obično ravno zrcalo *G* i kušam, da ih odbijem gore, pošto sam zrcalo namjestio u odredjen kut od 55°.

Za čudo vidim nov, — posvema neobičan pojav. Mi smo već iz svakidanjega iskustva na to naučni, da ravno zrcalo odbija svaku zraku svjetlosti, koja na nju pada. pa kad zrcalo okrećemo tamo i amo, seli se i slika po sobi na sve strane. Ovdje smo vidoci nova pojava: Redovita se zraka *o* ne odbija od zrcala, nego samo izvanredna *e!* Kako su titraji etera u redovitoj zraci osovni (t. j. idu odozgo dolje), a u izvanrednoj vodoravni (t. j. idu s desna na lijevo), otkrivamo, da se odbija samo ona zraka, u kojoj su titraji eterskih čestica vodoravni.

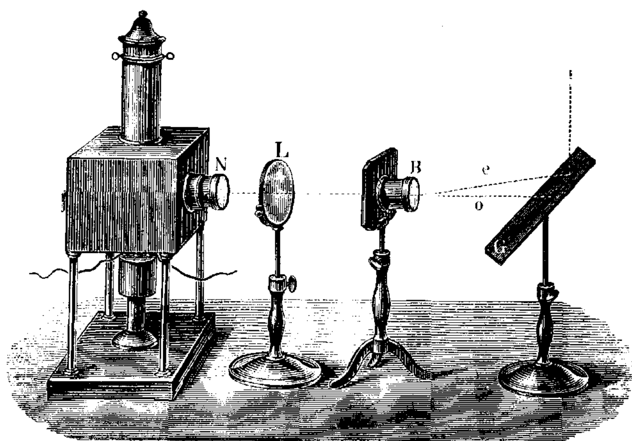
Okrenimo zrcalo i kušajmo naše dvije zrake odbiti u vodoravnom smjeru (sl. 201.). Sada se odbija od zrcala redovita zraka, ali izvanredna ne, dakle se odbija samo ona zraka, u kojoj su titraji eterskih čestica osovni.

U ravnom zrcalu dakle imamo novo sredstvo, da prepoznamo polarizovanu svjetlost od nepolarizovane, isto tako pouzdano kao i ploču turmalina ili Nicolov bridnjak! Nepolarizovanu svjetlost odbijat će

ravno zrcalo makar kakogod ga postavio spram zrake; polarizovanu pak svjetlost odbija u jednom položaju svom posvema, ali ako zrcalo okreneš zo 90°, ne odbija je ništa!

No ako ravno zrcalo ima to osobito svojstvo, da nam odaje, je li svjetlost, što na nj pada, polarizovana, ili nije, ne bismo li smjeli u njem tražiti i novo sredstvo, koje bi nam običnu zraku svjetlosti znalo i pretvoriti u polarizovanu!

Bit će skoro 100 godina, što je francuski fizik Malus (godine 1808.) to zaista otkrio. Bacio je pramen bijele svjetlosti na obično ravno zrcalo. Pramen se odbijao od njega u svakom položaju i odbita je svjetlost u svakom položaju zrcala imala istu jakost, dok



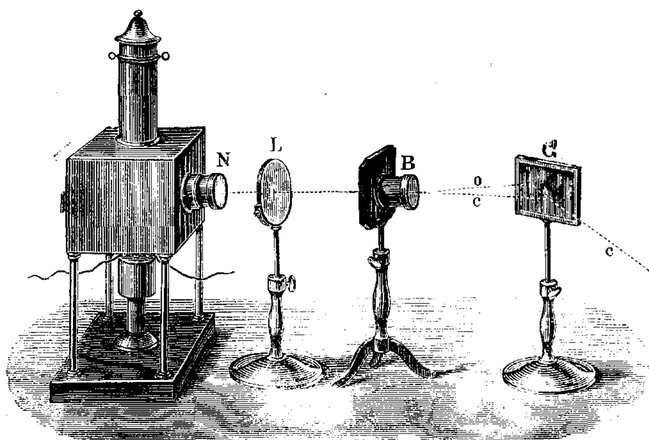
Sl. 200. Ravno zrcalo prepoznaje polarizovanu svjetlost.

je god kut upadanja ostao isti: svjetlost se odbija u svakom položaju zrcala doduše na drugo mjesto, ali odbita je svjetlost svagdje iste jakosti. No Malus je imao sretnu misao, da onu od zrcala odbitu svjetlost ponovno baci na drugo zrcalo, pak je njime dalje ispituje. Tu mu se je pokazao nov pojav, vrijedan da ga opišemo.

Ako je naime pramen svjetlosti na prvo zrcalo padao baš pod kutom od 55°, t. j. ako je pramen s okomicom zrcala činio kut od 55°, pokazalo se je, da je taj odbiti pramen — „polarizovana“ svjetlost! Izvanjim načinom toga na njem dakako ni u čem ne možeš da prepoznaš: odbija se od zrcala kao i obična nepolarizovana svjetlost, na stropu ćeš ili duvaru vidjeti sliku svagda na drugom mjestu, kako već namjestiš zrcalo spram pramena; ako pak pri tom

još paziš i na to, da se kut upadanja od 55° ništa ne mijenja, bit će slika na stropu svagda jednake jakosti. Otkuda nam dakle znanje, da je svjetlost u tom odbitom pramenu polarizovana, t. j. da sve čestice etera titraju u istom smjeru okomito na zraci?

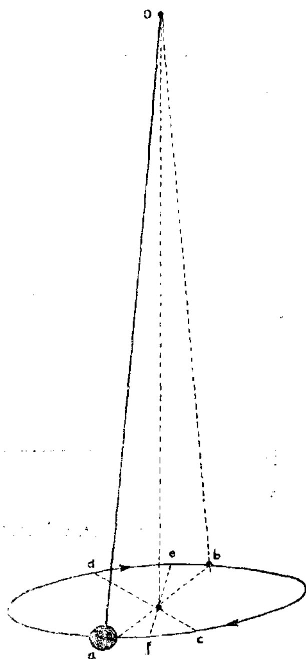
Treba, da je ispitamo pomoću kojega od naših analizatora, koji nam odaju, je li svjetlost polarizovana, ili nije, a tih analizatora poznajemo sada već tri: Nicolov bridnjak, turmalinsku ploču i ravno zrcalo. Uhvatiš li odbiti pramen svjetlosti na pr. Nicolovim bridnjakom, on će ga u jednom svom položaju propuštati; no kako nikol okrećeš, propuštat će manje svjetlosti, a u položaju okomitu na predjašnjem ne će propuštati baš ništa. Dakle je u odbitu pra-



Sl. 201. Ravno zrcalo prepoznaje polarizovanu svjetlost.

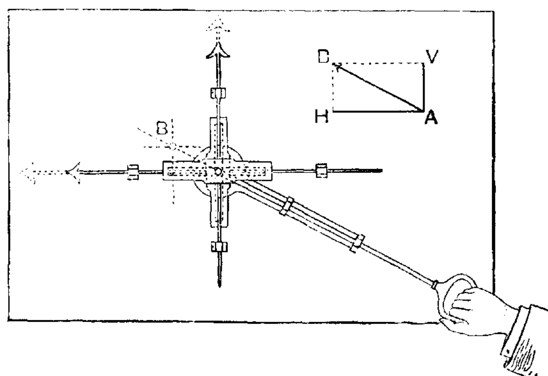
menu zaista svjetlost polarizovana. No mjesto skupoga nikola možeš za analizator uzeti i drugo ravno zrcalo: u jednom će položaju pramen odbijati, a u drugom okomitom ne će: opet dokaz, da je pramen imao polarizovanu svjetlost. Baš na ovom posljednjem pokusu osnovao je francuski fizik Biot veoma zgodan aparat, kojemu je dao ime „polariskop". Na njem je jedno ravno zrcalo (I.), kojemu je svrha, da zraku obične, nepolarizovane svjetlosti pretvori u polarizovanu (polarizator). To će se dogoditi, čim zrcalo (I) namjestiš pod kutom od 55° spram zrake: odbita zraka, koja ide kroz cijev, već je polarizovana svjetlost! Ona se na drugom zrcalu (II) ponovno odbija i daje na zastoru sliku. Ovo će nam drugo zrcalo (II) odati, da je zraka zaista polarizovana, to je zrcalo

dakle naš „analizator." U jednom položaju to zrcalo naime odbija svu svjetlost i na zastoru vidiš jasnu sliku. No kako staneš zrcalo (II) i s njim zajedno zastor okretati oko osovine cijevi, vidjet ćeš smjesta, kako slika na zastoru sve više blijedi, a kad zrcalo okreneš za punih 90°, nestat će slike sa zastora sasvim, makar da se kut upadanja nije ni malo promijenio. I tako si evo sastavismo i treći aparat za pretvaranje obične svjetlosti u polarizovanu. No najbolji je ipak aparat za sve pokuse s polarizovanom svjetlošću Nicolov bridnjak, pak ćemo ga i mi dalje upotrebljavati kod naših pokusa. Prvi će nam nikol svagda običnu svjetlost pretvoriti u polarizovanu, u kojoj sve čestice etera titraju u smjeru male diagonale kristala: on je dakle naš „polarizator." Drugi će nam nikol odavati, da je svjetlost zaista polarizovana, on će biti naš „analizator." A odavat će to položajem svoje kratke diagonale: Kad su kratke diagonale obaju nikola usporedne, prolazi sasvim polarizovana svjetlost; kad su te diagonale unakrst (t. j. jedna na drugoj okomita), ne propušta drugi nikol ni trunka svjetlosti usprkos tomu, što je prozračan kao najčišće staklo! Kad pak okrećeš analizator iz prvoga položaja u drugi, vidjet ćeš na slici jasno, kako sve više blijedi, analizator propušta u srednjim položajima doduše svjetlost, ali oslabljenu. Zašto to? Povratimo se njihalu, pak će nam i to biti smjesta jasno. Kuglica se našega njihala njiše (sl. 202.) smjerom *ab* tamo i amo. Ako je ustaviš, pak je potisneš u smjeru *dc*, koji je baš okomit na predjašnjem, njihat će se kuglica sada smjerom *cd* tamo i amo. Sada ću načiniti s njom ovaj zanimljivi pokus. Kuglicu zanjišem smjerom *ab*, no u času, kada je baš u sredini svoga puta, gurnem ju tako, da bi morala poletjeti smjerom *cd*. Ona ne će da podje smjerom *cd*, ali ne ide ni predjašnjim smjerom *ab*, nego udari novim smjerom *ef* i njiše tamo i amo u tom novom smjeru *ef*! Oba se gibanja, u smjerovima



Sl. 202. Sastavljanje njihaja.

ab i *cd*, složiše dakle u jedno jedino gibanje smjerom *ef* i kuglica to novo gibanje dalje izvodi! Mi smijemo dakle reći, da je gibanje u smjeru *ef* sastavljeno od oba gibanja u smjeru *ab* i *cd*. Ali mi smijemo sada i obrnuto zaključiti: gibanje se smjerom *ef* može svagda i rastaviti u dva gibanja smjerovima *ab* i *cd*, koji su jedan na drugomu okomiti, a to se zaista u prirodi veoma često i dogodi. To lijepo pokazuje ovdje naslikani model (sl. 203.). Uzmimo, da gibanje ide koso, kako pokazuje pravac *AB*; pomoću modela ga mogu rastaviti u dva gibanja: jedno ide osovno gore smjerom *AV*, a drugo horizontalno smjerom *AH*. Na modelu su naime dva žlijeba, u kojima idu drvene strjelice; jedna može da ide samo gore i dolje, a druga samo s desna na lijevo. Strjelice su



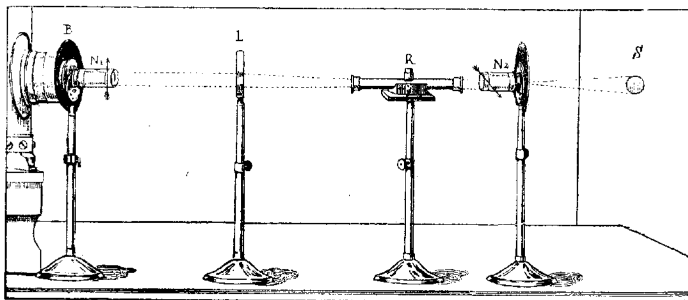
Sl. 203. Rastavljanje jednoga gibanja u dva okomita gibanja.

s pomoću koloturâ pričvršćene na kraju trećega drvenoga štapa, a tomu mogu dati svaki kosi položaj, a mogu ga i gibati tamo i amo. Namjestim li ga najprije horizontalno, pa ga rukom turam, bit će njegovo gibanje horizontalno i on će tjerati pred sobom samo horizontalnu strjelicu, osovna će ostati na miru. Namjestim li ga osovno, tjerat će ispred sebe tamo i amo samo osovnu strjelicu, horizontalna će biti na miru.

Ako ga pak namjestim koso (kao u slici), jedan će dio njegova gibanja tjerati osovnu strjelicu gore, a drugi će dio tjerati horizontalnu strjelicu na lijevo: njegovo se je gibanje dakle rastavilo u dva okomita gibanja. Kolik će se dio njegova gibanja prometnuti u osovno, a kolik u horizontalno gibanje, to zavisi samo o položaju, što sam ga štapu dao. Ako ga namjestim

točno u kut od 45° medju oba žlijeba, izaći će jednako gibanje horizontalne i osovne strjelice, inače će biti jedno gibanje veće, a drugo manje, kao što je i u slici naznačeno: osovni je dio *AV* mnogo manji od horizontalnoga *AB*. Fizičar bi u kratko rekao: gibanje *AB* rastavilo se je u dvije medju sobom okomite „komponente" *AV* i *AB*; kolike su obje komponente (t. j. oba dijela gibanja), to ćeš svagda naći veoma lakom geometrijskom konstrukcijom, koju ti pokazuje desni dio naše slike. No vrijedno je još upamtiti: horizontalno gibanje štapa ne daje nikakve osovne komponente, a osovno gibanje štapa ne daje nikakve horizontalne komponente.

Ovu malu ekskurziju upotrebit ćemo sada kod obaju Nicolovih bridnjaka!

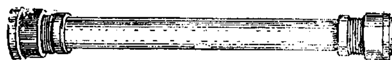


Sl. 204. Zakretanje smjera titranja u polarizovanoj svjetlosti.

U točki *A* (sl. 203.) pada okomito na ravninu papira zraka obične svjetlosti i tu ulazi u prvi nikol, kojemu kratka diagonala ima smjer *AB*. On pretvara običnu svjetlost u polarizovanu, u kojoj sve čestice etera titraju samo smjerom njegove kratke diagonale *AB* tamo i amo. Ova svjetlost ide sada dalje i udari o drugi Nikol (analizator), ali njegova kratka diagonala nije usporedna s *AB*, nego ide na pr. smjerom *AV*. On dakle propušta samo zraku svjetlosti, u kojoj čestice titraju u smjeru *AV* tamo i amo. Što će se dogoditi? Gibanje eterskih čestica smjerom *AB* rastavit će se u dva okomita gibanja, jedno će ići smjerom *AV*, a drugo smjerom *AH*. Kako naš drugi nikol propušta samo gibanje u smjeru *AV*, a uništi gibanje u smjeru *AH*, jasno je, da će iz njega doduše još izlaziti svjetlost, ali veoma oslabljena. A baš to su nam i pokusi kazivali.

U prirodi samoj polarizovanu svjetlost ne zapada velika uloga, jer je ne možemo raspoznati od obične, ako ne upotrebimo kakav osobiti „analizator". Čini se po tom, kao da ta svjetlost nema baš osobite važnosti za nas, ako ne tu, da nam je ona odala veliku jednu tajnu o valovima etera: tajnu, da čestice etera svagda titraju poprijeko (transverzalno), t. j. okomito na smjeru vala, baš kao i čestice vode kod valova na vodi. Kako je u tom otkriću velik triumf oštroumnosti ljudske, bilo je već poradi toga vrijedno, da se časak zabavimo oko polarizacije svjetlosti. No polarizovana svjetlost ima i svoju praktičnu stranu, koju sam rad pokazati na nekim pojavima. Ne bi čovjek na pr. rekao, da su kulturne države znale upotrebiti polarizaciju svjetlosti, kako bi od svojih gradjana istisnule što više — poreza! Čujte, kako je došlo do toga. Lijepa je to pripovijest!

Pred lampu ili heliostat namjestimo prvi nikol N_1 (sl. 204.) s kratkom diagonalom osovno. Nešto odalje stoji drugi nikol N_2 s kratkom diagonalom horizontalno. Iz prvoga nikola izlazi svjetlost polarizovana i sve čestice etera u pramenu zraka titraju osovno.



Sl. 205. Cijev s rastopljenim šećerom.

Kako kratka diagonala drugoga nikola stoji horizontalno, ovaj ne propušta ništa svjetlosti, na zastoru nema svijetle pjege („polje je tamno"). Preda mnom je nekoliko staklenih cijevi poput ove u sl. 205., koje su s obje strane zatvorene staklenim pločicama, a u njima je voda, alkohol, kloroform i benzol, dakle same bezbojne i sasvim prozračne tekućine. Ako jednu za drugom namjestim medju oba nikola (u položaj R na slici 204.), ostaje polje na zastoru tamno kao i prije. No medju cijevima je jedna R, u kojoj je šećera rastopljena u vodi. Ako nju postavim medju oba nikola N_1 i N_2, osupnut će nas pojav, da se na zastoru najednoć pojavi svijetla pjega S. Drugi nikol sada na jednom propušta polarizovanu svjetlost, akoprem unakrst stoji s prvim nikolom. Što to znači? Očito samo to, da svjetlost, koja je prošla kroz rastopinu šećera, ne titra više osovno gore i dolje, nego u nekom drugom smjeru koso spram analizatora. Rastopina šećera ima dakle to osobito svojstvo, da smjer titranja u polarizovanoj svjetlosti nešto na stranu „zakrene." Kako taj novi smjer titranja nije više okomit na maloj diagonali analizatora N_2, jasno je po pre-

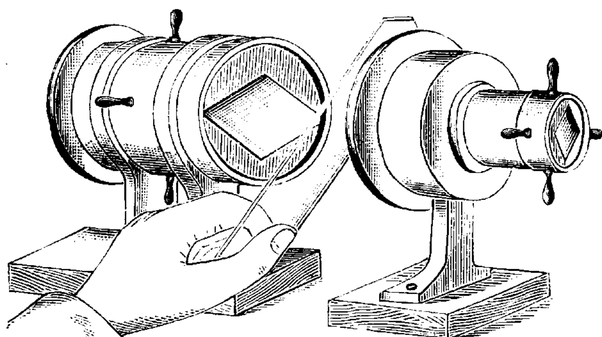
djašnjem, da će se rastaviti u dvije okomite komponente, kojih će jedna pasti baš u smjer male diagonale nikola N_2, i taj će dio svjetlosti proći kroz N_2, a drugi će se dio uništiti. No ako se je u šećeru zaista promijenio smjer titranja eterskih čestica, pak taj sada s malom diagonalom analizatora ne čini pravi, nego kos kut, morat će se okretanjem analizatora N_2 opet dati utrnuti svijetla pjega S. I zaista treba da nikol N_2 okreneš za neki kut, pa opet nestaje svijetle pjege. Dokazano je dakle svojstvo šećera rastopljena u vodi, da on smjer titranja u zrakama polarizovane svjetlosti nešto zakrene. Za koliko ga stupanja zakrene, to možemo mjeriti nikolom N_2, ako odredimo kut, za koji smo ga iz ukrštena položaja njegova morali okrenuti, dok se je svjetlost ponovno utrnula. No tu se je sada pokazao pojav, što su ga države znale tako mudro upotrebiti: uz istu dužinu cijevi, na pr. 20 cm, okrene se smjer titranja u rastopini šećera to više, što je više šećera u njoj. Cijev dugačka 20 cm okrene smjer titranja na svaki gram šećera u 100 cm³ rastopine za $1^1/_3{}^0$. Po tom, za koliko se je stupanja okrenuo smjer titranja, možemo dakle i obrnuto sasvim točno odrediti, koliko je šećera u rastopini. Kako država na šećer udara porez, upotrebila je ovo svojstvo, da i ona tim putem odredi šećer u rastopinama, i tako nam polarizacija svjetlosti odredjuje porez na šećer!

Ako rastopina šećera ima to osobito svojstvo, da može nešto okrenuti smjer titranja eterskih čestica u zraci polarizovane svjetlosti, na dlanu je misao, da bi to isto svojstvo mogla imati i druga tjelesa, navlastito kristali poput dvolomca. Ta kod njega smo baš vidjeli, kako se svaka zraka obične, nepolarizovane svjetlosti, u kojoj čestice etera titraju na sve strane, cijepa u dvije zrake svjetlosti, ali u tima sve čestice etera titraju samo u sasma odredjenim smjerovima: u jednoj titraju u smjeru male diagonale, a u drugoj okomito na taj smjer, t. j. u smjeru veće diagonale.

Namjestismo dakle dva nikola (sl. 206.) pred našu lampu. Ako su im kratke diagonale usporedne, propuštaju oba svjetlost i na zastoru je svijetla pjega. Prvi veći nikol je polarizator, a drugi manji je analizator. Ako su im pak male diagonale unakrst (a tako je u našoj slici), utrne se svjetlost na zastoru sasvim: analizator sada ne propušta ništa svjetlosti. Medju oba prekrštena nikola umetnimo tanku pločicu tinjca, kristala, koji je sasvim bezbojan i prozračan kao staklo. Evo novoga pojava: na zastoru se opet javi svijetla pjega, premda su nikoli unakrst namješteni, pojav sasvim sličan onomu kod rasto-

pine šećera. Ali nije samo to, što nas osupnjuje. Iz lampe dolazi bijela svjetlost; ona je ostala bijela i nakon toga, što je prošla kroz oba usporedna nikola. A sada? Umetnuo sam medju nikole tanku sasvim bezbojnu pločicu; ona prije svega učini, da analizator sada svjetlost lampe propušta, koje čas prije nije propuštao, ali ta svjetlost nije više bijela, nego pokazuje krasne boje, premda je pločica tinjca sasvim bezbojna! Otkuda boja, otkuda svjetlost? No prije odgovora još nekoliko pokusa!

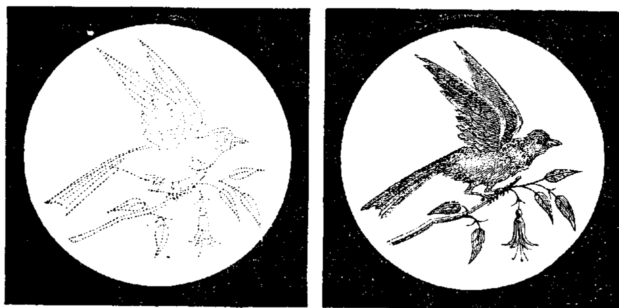
Medju prekrštene nikole namjestim odeblju pločicu sadre (kristalizovane), koja je takodjer sasvim bezbojna i prozračna kao staklo. Na zastoru se svijetla pjega zaista pokaže, ali je bijela. S nožem odlupim od pločice tanku vrstu (sadra se izvrsno kala!) i namjestim je medju prekrštene nikole. Svijetla se pjega javi, ali je



Sl. 206. Pločica tinjca medju nikolima.

sada krasno bojadisana u različnim bojama. Boja očito zavisi o debljini pločice: odeblja pločica ne daje nikakvih boja, a tanje pločice daju različne boje prema svojoj debljini (nožem naime nisam mogao odlupiti pločicu, koja bi svagdje bila jednako debela). Na jednom je mjestu debljina takva, da se javi lijepa žuta boja; nešto iznad toga, gdje je kristal nešto deblji, ta je boja grimizna. Ali ni to nije dosta čuda! Okrećimo sada naš analizator i gledajmo pomno šarenu pjegu na zastoru: boje po malo blijede i gube se; no kako analizator sve dalje okrećem, dok napokon obje male diagonale usporedno stoje, žuta se boja prometnula u modru, a grimizna u živu zelen! Evo opet veoma živih boja, ali su komplementarne spram predjašnjih. Što je to? Zagonetke nam se nižu jedna za drugom! Neznatna tanka pločica izvodi tako krasne boje u polarizovanoj svjet-

losti, a te se boje premeću kao po zapovjedi kakova čarobnjaka! Kad je pločica nejednake debljine, daje u isti mah različne boje; no ako je izbrusiš toliko, da bude svagdje jednake debljine, bit će i boja te pločice svagdje ista; no pločice različne debljine daju i različne boje. Ako dakle sastaviš od nekoliko takih pločica različne oblike, na pr. zvijezdu, cvijet, mušicu, leptira itd., pak ih namjestiš medju naša dva nikola, dobit ćeš predmete u najkrasnijim bojama, kakovih ni jedan slikar ne može da naslika. Okreći onda još analizator, pak ćeš u čudu gledati, kako ti se na oči pretvore sve boje u komplementarne. U slici 207. na pr. sastavljen je od takih sadrenih pločica različne debljine lik ptice na grančici. Kad je smjestiš medju prekrštene nikole, vidjet ćeš pticu crvenu, žutu i modru, a lišće na grančici zeleno. Okreneš li analizator, sve se boje prometnu u



Sl. 207. Ptičica od sadrenih pločica u polarizovanoj svjetlosti.

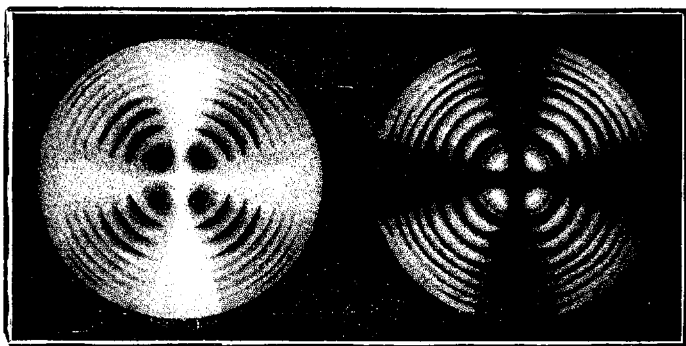
komplementarne. Polarizovana svjetlost kao da zna slikati u secesionističkoj maniri!

U dosadanjim smo pokusima uzeli, da iz naše lampe izlazi pramen usporednih zraka svjetlosti. No ako pomoću leće sabirače taj pramen pretvoriš u stožac, pak ga baciš na pločicu svagdje jednake debljine, ne će ona primiti kao prije jednu boju; mjesto nje opet nov pojav: na zastoru vidiš nekoliko koncentričnih krugova u spektralnim bojama, a presječeni su crnim krstom (sl. 208. desno.). Okreneš li analizator za 90°, crni se krst prometne u bijeli, a boje se krugova prometnuše u komplementarne!

Što li nam vrijedi ova igra krasnih boja? Evo nekoliko primjera! Medju oba nikola smjestio sam dva rubina; na oko su sasvim jednaki, ali jedan je pravi rubin, a drugi je patvoren. Koji je pravi?

Odgovor daje naš analizator! Namjestimo ga unakrst s polarizatorom. Polje je tamno, na zastoru nema pjege, jer analizator sada ne propušta polarizovane svjetlosti prvoga nikola. Smjestiš li medju njih pravi rubin, polje će zasjati: na zastoru se javi svijetla pjega; od krivoga će kamena polje ostati tamno. Pravi je naime rubin kristal, pak izvodi pojave, što ih opazismo na tinjcu i sadri.

Ovako nam polarizovana svjetlost često odaje kristale različnih ruda, ona pače zna kazivati i o tom, kako su gradjeni. Evo i za to primjera. Komad je ametista u običnoj svjetlosti sasvim prozračan i blijede grimizne boje. Namjesti ga u put polarizovanoj svjetlosti. Vidjet ćeš s mjesta, da je taj dragi kamen očito složen od čitava niza rastavljenih vrsta, koje su jedna iznad druge, a odaju se tim,



Sl. 208. Obojeni krugovi s krstom u polarizovanoj svjetlosti.

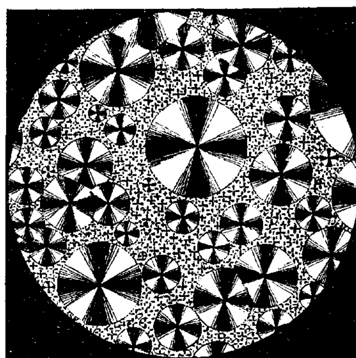
što naizmjence svijetle u grimiznoj i bijeloj svjetlosti. Druge partije kristala pokazuju pak cio niz boja, koje se mijenjaju, kad okrećeš analizator. Polarizovana nam je svjetlost odala, kako je gradjen ametist.

Uzmimo još tanku pločicu sige, koja se u tako krasnim oblicima zna složiti u krškim spiljama. Medju nikolima pokazuje crn krst, koji se prometne u bijeli, kad okreneš analizator za 90°. U slici 209. prikazana je tanka pločica od umjetnih kristala tvari „salacine“, koja se lako topi u alkoholu. Ako rastopinu izliješ na toplu staklenu pločicu, ishlapit će alkohol, a tvar će se kristalizovati. Ledci će u isti mah postajati na različnim mjestima. U stošcu polarizovane svjetlosti javit će se sva sila crnih krstova, a kad brzo okrećeš analizator, promeću se svi u bijele, pa opet u crne, pak ti se čini, da se svi krstovi vrte kao vjetrenjače!

Iz ovih se primjera jamačno već razabira, gdje nam polarizovana svjetlost mnogo vrijedi: nauka o ledcima, kristalografija, okoristila se je najviše pojavima, koji se pokazuju, kad polarizovana svjetlost prolazi kroz različne kristale. No i obrnuto se dogodilo: nauka o svjetlosti crpala je mnogo koristi od kristalografije. Predaleko bi nas vodilo, da se dalje upuštamo u ove krasne pojave; to svakako ide u poseban studij.

Mi tek stojimo pred zagonetkama. Otkuda ta igra najljepših boja u ledcima, kad ih smjestiš u put polarizovanoj svjetlosti? Zašto se promeću u komplementarne, kad okreneš analizator za 90°?

Bismo li našu ekskurziju u ovaj teški, ali čarobni kraj u carstvu svjetlosti završili ovim zagonetkama? Sudim, da ne bi bilo pravo, kad mi se čini, da bi nam se i te zagonetke znale riješiti pred duševnim našim okom pomoću stečenoga znanja. Rad sam i tu duševnu radost pribaviti čitatelju!



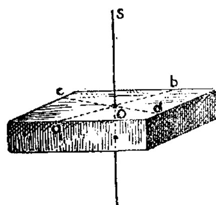
Sl. 209. Slike salacine u polarizovanoj svjetlosti.

Što nam je ispričao islandski dvolomac na početku našega izleta? On rastavlja zraku obične svjetlosti u dvije polarizovane zrake svjetlosti, ali te su zrake u okomitim smjerovima polarizovane i svaka se drukčije lomi, pa poradi toga idu odjelito kroz dvolomac. No toga svojstva nema jedini dvolomac, nego ga pokazuju u manjoj mjeri svi kristali osim onih, koji idu u regularni sustav (prvi od njih 6). Ta u tom jest prava bit kristala, da za njega nisu svi smjerovi jednake vrijednosti. Neki su smjerovi u neku ruku odlikovani poradi toga, što ledac u jednom smjeru ima veću optičnu elasticitetu, ili „ukočenost“, nego u drugom. Već nam svaki komadić drveta pokazuje ovakvu različnu ukočenost: ta koliko je lakše drva cijepati uzduž niti, nego li poprijeko, koliko ga je lakše saviti okomito na niti, nego li uzduž njih. I u kristala je takva nejednaka gradnja, ali tako fina, da mi u njih ne možemo da primijetimo ni vlakanaca ni vrsta. No ipak se odaje ta nejednaka gradja u različnoj kalavosti i u različnoj optičnoj ukočenosti u različnim smjerovima. Islandski dvolomac ima takodjer u jednom smjeru veću ukočenost, nego u drugom,

pak poradi toga cijepa svaki val eterskih čestica, koji koso ide kroza nj, u dva dijela: u jednom titraju čestice etera usporedno sa smjerom najveće ukočenosti, a u drugom u smjeru najmanje ukočenosti, koji je na predjašnjem okomit.

Samo neki kristali, kao na pr. dijamant, imaju u svim smjerovima jednaku ukočenost, a ti zaista svjetlosti ne lome dvostruko, niti mogu običnu zraku pretvoriti u polarizovanu. Razumjet ćemo sada, zašto se u islandskom dvolomcu svaki njihaj eterske čestice cijepa po zakonu paralelograma (isp. str. 326.) u dva medju sobom okomita njihaja, jedan u smjeru mâle, a drugi u smjeru velike diagonale. U Nicolovu smo bridnjaku uklonili titraje u smjeru velike diagonale, pa poradi toga iz njega izlazi samo jedna zraka, a u njoj titraju čestice etera usporedno s malom dijagonalom (isp. sl. 203.).

Uočimo sada iz bližega, što se mora dogoditi. ako u put toj polarizovanoj zraci *s* (sl. 210.) namjestimo pločicu sadre, koja takodjer ima svoj smjer najveće ukočenosti *ab* i najmanje ukočenosti *cd*. Njihaji se eterskih čestica u sadri mogu dakle samo u tim smjerovima zbivati.

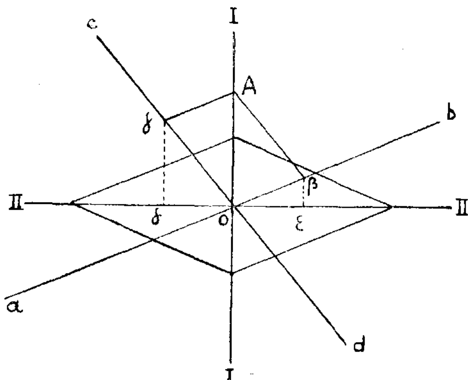


Sl. 210. Pločica sadre.

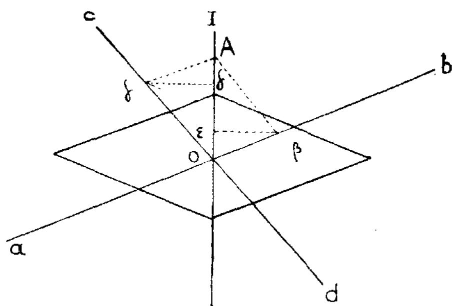
Uzmimo, da su obje diagonale naših nikola usporedne. Iz velikoga našega nikola izlazi zraka polarizovane svjetlosti, u kojoj sve čestice etera titraju usporedno s malom diagonalom. Namjestimo joj u put našu pločicu, tako da se njezin smjer *ab* podudara sa smjerom male diagonale. Jasno je, da će ta zraka nepromijenjena proći kroz pločicu, da će udarati na mali nikol, a kako je i njegova diagonala usporedna s *ab*, proći će i kroza nj. Postaviš li ga unakrst s *ab*, svjetlost ne prolazi više. To su dakle sasvim obični pojavi i naš kristal u ovom osobitom položaju ne daje nikakvih novih pojava.

Sasma se drukčije ima stvar, ako se smjer pločice *ab* ne podudara sasvim sa smjerom male diagonale našega velikoga nikola. Uzmimo najprije, da male diagonale naših nikola stoje unakrst. U slici 211. neka *I* pokazuje malu diagonalu velikoga, a *II* malu diagonalu manjega nikola (položaj kao u slici 206.). Medju njima je namještena naša pločica sa svojim odličnim smjerovima *ab* i *cd*. Iz prvoga nikola izlazi polarizovana zraka, u kojoj sve čestice etera izvršuju titraje u smjeru *I*, a zamah (amplituda) tih titraja neka bude OA. Kako sadrena pločica propušta samo titraje u smjerovima *ab* i *cd*, mora da se titraj OA rastavi u komponente $O\beta$ (u smjeru *ab*) i $O\gamma$ (u

smjeru *cd*). Iz sadrene pločice izlaze dakle ova 2 titranja i idu dalje na drugi manji nikol, koji propušta samo titraje u smjeru *II*. Poradi toga će prvi titraj $O\beta$ kroz drugi nikol poslati samo svoju komponentu $O\varepsilon$, a drugi titraj $O\gamma$ samo svoju komponentu $O\delta$. Ova su pak dva gibanja, kako se vidi, suprotnoga smjera i osim toga su kroz pločicu išla različnom brzinom, imaju dakle neku razliku puta, pak se moraju ukrštavati (isp. str. 40.). Ova će se dva gibanja sasvim uništiti, ako im je razlika puta baš polovina dužine vala. Prema debljini pločice dogodit će se to za jednu ili drugu od spektralnih boja. Ako je dakle na pločicu dolazila bijela svjetlost, nestat će iz nje te uništene boje u svjetlosti, koja je iz pločice izišla. Ostale će boje biti u propuštenoj svjetlosti u različnom razmjeru već prema dužini njihovih valova, dakle će propuštena svjetlost biti bojadisana i njezina će boja biti smjesa svih propuštenih boja. Ovakva pločica, smještena medju dva prekrštena nikola, učinit će dakle ono, što nam je pokus pokazao: drugi će nikol sada svjetlost propuštati, ali ta će svjetlost biti različne boje prema debljini pločice.



Sl. 211. Pločica sadre medju ukrštenim nikolima.

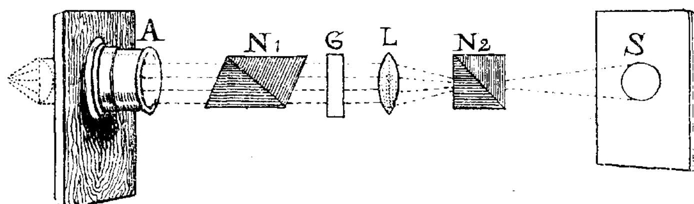


Sl. 212. Pločica sadre medju usporednim nikolima.

Ispitajmo još, što će se pokazati, ako su male diagonale obaju nikola usporedne! Slika nam **212**. to razjašnjuje. *I* nam pokazuje smjer malih diagonala obaju nikola, koje se sada podudaraju, a *ab* i *cd* odlične smjerove naše sadrene pločice. Iz velikoga nikola izlazi polarizovana zraka svjetlosti, u kojoj sve čestice etera titraju u smjeru

I sa zamahom *OA*. Iz toga postaju u pločici titraji svjetlosti *Oβ* i *Oγ*. Od tih svjetlosti idu kroz drugi nikol samo oni dijelovi (komponente), koji titraju u smjeru njegove male diagonale *I*, a to su gibanja *Oε*, dio od *Oβ*, i *Oδ*, dio od *Oγ*. Ova dva gibanja *Oε* i *Oδ* padaju u isti smjer, dakle se pojačavaju, dok su se u predjašnjem slučaju slabila. One boje dakle, koje su se prije uništile, baš te će se sada najviše pojačati, i obrnuto. Dakle će svjetlost, koja sada prolazi kroz pločicu i oba nikola, opet biti bojadisana, ali boje moraju da budu baš komplementarne spram predjašnjih.

To nam i pokus posvema točno potvrdjuje, ako se izvede u rasporedu slike 213., gdje je *A* pramen bijele svjetlosti iz lampe, N_1 prvi nikol, *G* pločica od sadre, *L* leća sabirača, da bude slika oštra, N_2 drugi nikol, a *S* bojadisana slika na zastoru. Ako su nikoli prekršteni, slika je *S* na pr. svijetlo modra, ako se drugi nikol okreće po malo iz prekrštena položaja u usporedni, slika po malo blijedi, u

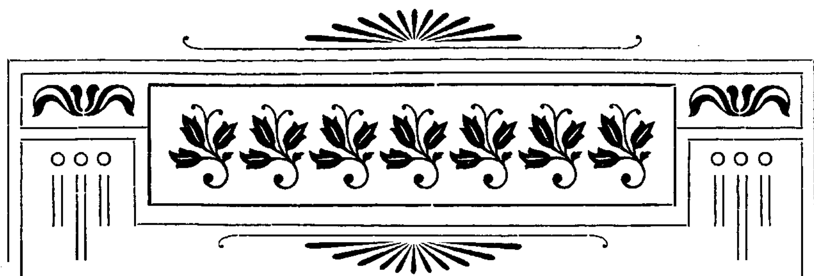


Sl. 213. Pločica sadre u polarizovanoj svjetlosti.

nekom će odredjenom položaju nikola biti bijela i onda će prelaziti u narančastu boju, koja će bivati to punija, što se više približavamo usporednomu položaju obaju nikola. U njem će biti najpunija. Pločica druge debljine dat će boje zelenu i crvenu, treća tamno modru i žutu itd.

S ovim ponajvećim triumfom Huyghensova mišljenja o naravi svjetlosti — s tumačenjem boja kristalnih pločica u polarizovanoj svjetlosti — završujemo ovu ekskurziju u područje čarobnih ovih pojava. Tek bismo podsjetili čitatelja, da se pomoću matematičkoga aparata i sve pojedine tančine svih ovih pojava upravo savršeno izvode u potpunu skladu s pokusima. A u toj potpunoj harmoniji izmedju duševne slike i realnoga svijeta izvor je onomu velikomu užitku, što ga osjeća dobar poznavalac prirodnih pojava.

Naše ekskurzije u područje carstva svjetlosti učinile su već svoje, ako su iz daleka natuknule takve užitke!



XI.

Hladna svjetlost i nove zrake.

Hladni izvori svjetlosti. — Različne vrste svjetlucanja ili luminiscencije. — Katodne zrake. — Hipoteza elektrôna. — Röntgenove zrake. — Becquerelove zrake. — Radioaktivne tvari. — Pretvaranje radija u helij.

U posljednjim desetgodištima 19. stoljeća naše se znanje o valovima i zrakama u oceanu etera iznenada veoma jako proširilo: ta cio svijet danas govori o Röntgenovim i katodnim zrakama, o Becquerelovim zrakama i radioaktivnim tvarima, o Hertzovim električnim zrakama i njihovoj najvažnijoj primjeni, Marconijevu telegrafu bez žica, i drugim kojekakvim novim zrakama. Red je da povedemo prijazne čitateljice i čitatelje i u područje ovih najnovijih obreta fizike, gdje čak i stručnjaci gotovo osupnuti stoje pred novim, neslućenim svijetom pojava, koji im zadaju puno posla, jer se u prvi mah čine — prava čudesa.

1.

Vratimo se na čas k najglavnijemu izvoru svjetlosti na Zemlji — k Suncu. To je naša glavna lampa, ali i — glavna peć. Gotovo je za organski život na Zemlji važnije, da je Sunce naša peć. Da mu se naime onako iznenada prohtije preko noći da se utrne i ohladi, teško nama na Zemlji! Ne bi uz svu kulturu čovjekova roda prošla ni godina dana i sva bi Zemlja bila ledena i mrtva kugla. Fuerunt Troes! vrijedilo bi u punom smislu riječi za čitav čovjekov rod. No usprkos tomu, što bi pôdrug milijarde razumnih bića prestalo živjeti, što bi toliko znanje, tolike lijepe misli i čuvstva, gotovo

u tren oka u nepovrat propala, — red se svemirski ne bi ni za dlaku promijenio! Pa gle, kako se ti ljudi ipak medju sobom bore i grizu, kao da su oni najvažniji član u svemiru!

Da nas ta nesreća stigne, zadesila bi nas poradi toga, što nam Sunce zajedno sa zrakama svjetlosti šalje u još obilnijoj mjeri zrake — svoje topline, toga posljednjega izvora svemu životu na Zemlji.

Mi smo poradi toga i naučni, da navlastito uz pojam jake svjetlosti, a i inače uz pojam svake svjetlosti vežemo i pojam vrućine ili topline. A i drugi naši umjetni izvori svjetlosti obično su vrući — oni su „vrući izvori svjetlosti." Uzmite na pr. električnu ugljenovu svjetlost medju šiljcima dvaju štapića ugljena. Jaka je to svjetlost, ali i vruća: temperatura je oko 4000° C! Na površini je Sunca po najnovijim istraživanjima temperatura bar 8000° C, a u unutrašnjosti je po svoj prilici još mnogo veća.

Na osnovi pouzdanih pokusa znademo, da se svako čvrsto tijelo pretvori u vruć izvor svjetlosti, ako ga ugrijemo do 525° C: tijelo svijetli u rumenu žaru. Da svijetli bijelom svjetlošću, treba da ga ugriješ i preko 1000° C. Koliko bismo prištedjeli, da nam je kako načiniti umjetan izvor svjetlosti iste snage, ali bez ove velike topline, da nam je načiniti „hladan izvor svjetlosti"! To nas vodi pitanju: a ima li u opće u prirodi „hladnih izvora svjetlosti", t. j. takih tjelesa, koja izbijaju zrake svjetlosti, a da im temperatura nije ništa viša od temperature njihove okoline? Može li to u opće biti, da tijelo svijetli, a da nije ujedno i vruće? Kad smo raspravljali o nevidljivim zrakama spektra (str. 284.), zaista smo se sastali s takvim izvorom svjetlosti: nevidljive ultraljubičaste zrake padahu na neke tvari, i ove tvari zasvijetliše plavom, ili zelenom blagom svjetlošću, ali se ne ugrijaše pri tom ni malo. No ta bi svjetlost tek toliko trajala, dok bi one zrake padale na tvar, ali to ipak stoji, da su svijetlile uz običnu temperaturu sobe.

„Fluorescencijom" okrstismo taj veoma zanimljivi pojav, i mi s punim pravom možemo reći, da u svjetlosti fluorescencije imamo pred sobom „hladan izvor svjetlosti." Ne bismo li još takvih izvora svjetlosti mogli otkriti? Tko ne zna, da „fosfor" u tmini svijetli lijepom, blagom plavkastom svjetlošću? Uzmi na pr. komadić fosfora, pak piši njim po hrapavoj površini neprozračne ugrijane pločice od stakla. Ako je soba tamna, vidjet ćeš s mjesta ono lijepo svjetlucanje: iz fosfora izbija „hladna svjetlost." Uzrok joj je polagano spajanje fosfora s kisikom iz uzduha, dakle kemijski proces,

pak bismo joj mogli dati ime „kemijsko svjetlucanje.“ Profesor je E. Wiedemann svakomu svijetljenju, kod kojega se temperatura tijela ne povisuje, dao ime „luminiscencija“, a za to bismo mogli uzeti veoma zgodnu hrvatsku riječ „svjetlucanje.“ No i svjetlucanje je fosfora na toploj ploči kratkoga vijeka: nekoliko minuta i nestalo ga je. Čudnovato je, da u toj svjetlosti ima osim modrih valova svjetlosti, koje vidimo, i nevidljivih valova, a ti nam se odaju svojim djelovanjem na fotografijsku ploču, pače idu i kroz crn papir, u kojem su takve ploče umotane, pak djeluju na ploču! Danas se dalje zna, da i svjetlucanje krijesnica noću, pak svjetlucanje nekih muha i krasno svjetlucanje mora noću ide u ovaj red „kemijskoga svjetlucanja.“ I svjetlucanje mnogih riba, koje žive na dnu duboka oceana, ide amo, pak i svjetlucanje mnogih bakterija, koje se razvijaju na trulom drvu, ili kod truhlenja drugih organizama. U svim je tim slučajevima kemijsko rastvaranje uzrok hladnoj svjetlosti.

Sasvim je druge naravi svjetlucanje, koje već poznajemo uz ime „fluorescencija“: iz tijela izbija blaga hladna svjetlost, ako na nj udaraju valovi svjetlosti. Imamo dva različna slučaja: ili svjetlucanje traje samo dotle, dok valovi svjetlosti udaraju o tijelo — to je nama poznata „fluorescencija“, — ili pak svjetlucanje traje još i poslije toga, t. j. svjetlost izbija iz tijela još i onda, kada su već prestali na nj udarati valovi svjetlosti, i traje još odugo vrijeme. Uz ime „fosforescencija“ poznat je taj pojav ravnih 300 godina. Čižmar Casciarole u Bologni (u Italiji) znao je g. 1602. načiniti kamen, koji bi u tami svjetlucao, ako bi se prije toga izložio valovima svjetlosti. On je taj čudni kamen načinio iz barijeva sulfata, koga je bilo u okolini grada. Od onda su našli i umjetno sastavili mnogo takvih tvari, a medju njima se jakom i trajnom svjetlošću odlikuju sulfat kalcija i sulfat stroncija. Od svih je umjetnih tvari ove ruke najbolja Horneova tvar, koja daje svjetlost jaku kao desetina svijeće, ako je samo kratko vrijeme izložiš valovima svjetlosti. Ako je tom „bojom svjetlucanja“ namazana staklena ploča, pak na nju položiš raširenu ruku i tek jednu minutu izložiš ploču svjetlosti Sunca, ili električne lampe, vidjet ćeš u tamnoj sobi, kako sva ploča sjajnom svjetlošću svijetli — osim onih mjesta, gdje je bila ruka: sjena se prstiju javlja kao crna silhoueta. Svjetlucanje u slabijoj mjeri zna potrajati čitavu noć. Kako su ovomu svjetlucanju uzrok valovi svjetlosti, dobilo je u nauci ime „foto-luminiscencija“, mi bismo mogli reći „svjetlucanje od svjetlosti.“

*

Zanimljivo je otkriće Dewarovo, da neke tvari dobiju ovo svojstvo tek onda, kad ih ohladiš na — 80° C, na pr. perje, slonova kost i papir.

Ima opet drugih tvari, koje u tmini svijetle, čim ih ugriješ. Amo ide na pr. poznata ruda fluorit, ali ima još mnogo takih minerala, medju njima navlastito zelene vrste fluorita. Na Bunsenovu žišku ugrijemo bakrenu ploču dosta jako. U tami ne svijetli još ništa. Pospeš li sada po vrućoj ploči nekoliko zrnaca fluorita, sjat će u tmini čim se ugriju, kao krijesnice. Nekoliko će minuta svijetliti jakom svjetlošću, onda će poblijedjeti, ali će još nekoliko sati iz njih izbijati slaba svjetlost. „Termo-luminiscencija" ili „svjetlucanje od topline" je ime tomu izvoru hladne svjetlosti. No kao da ovaka tjelesa svu svoju zalihu svjetlosti već kod prvoga grijanja ispačaju, jer drugi put već ne svjetlucaju, ako ih ponovno ugriješ.

I trenje je tjelesa gdjekada uzrok svjetlucanju tjelesa. Jedan pokus, koji ide amo, može svatko i sam načiniti bez ikakvih aparata: razlomi samo komad šećera u sasvim tamnoj sobi. U času lomljenja vidjet ćeš slabašnu hladnu svjetlost. I kristali uranova nitrata pokazuju takvu svjetlost, ako ih treskaš u bočici ili tucaš u mužaru. Thompson je u svojim predavanjima „o vidljivoj i nevidljivoj svjetlosti" pokazivao ovaj lijepi pokus: Pred njim je bio komad kristala od kremena težak više od 50 kg. Jedna mu je ploha bila gotovo gladka. Manji je komad kremena uzeo i njime tro po plohi velikoga. Kad je dvoranu potamnio, vidjeli su gledaoci sjajne blijeske svjetlosti, koji su vrcali iz kremena, premda se nisu gotovo ništa ugrijali, dakle opet hladna svjetlost. „Tribo-luminiscencija" dao je Wiedemann ime toj vrsti svjetlucanja. Mi bismo mogli reći, da je to „svjetlucanje od trenja."

No daleko najvažniji izvor ovakve hladne svjetlosti svakako je svjetlucanje mnogih rastanjenih plinova, a i drugih tjelesa, kad kroz njih prolazi električna struja. Tko danas već ne zna glasovite „Geisslerove cijevi", u kojima nemirno titra sjajna svjetlost plinova, usjanih električnom strujom? No kad cijev obuhvatiš rukom, gotovo se nadješ u čudu, da je sasvim hladna, kao i okolina njezina, premda plin već dugo vremena izbija svoju prekrasnu, a i dosta jaku svjetlost. U „elektro-luminiscenciji" ili „električnom svjetlucanju" imamo dakle najživlji i najzanimljiviji izvor „hladne svjetlosti." Kako se na nj nadovezaše obreti novih zraka katodnih i Röntgenovih, posvetit ćemo ovomu svjetlucanju nešto veću pažnju u posebnom članku.

2.

Katodne zrake. Polako, ali postojano prodire ljudski um sve dublje u velike zagonetke i tajne, što mu ih zadaje izučavanje prirodnih pojava na anorganskoj materiji preko fizike, fundamentalne prirodoslovne nauke. Baš konac devetnaestoga stoljeća kao da je htio da otvori fizici nove putove, kojima će ići u prvoj polovini, a možda i u cijelom dvadesetom vijeku. Otkrića Hertzova, a još više Röntgenova otvoraju nove vidike i s te sam strane rad, da prikažem u ovom članku čitateljicama i čitateljima zrake X i što se na njih nadovezuje.

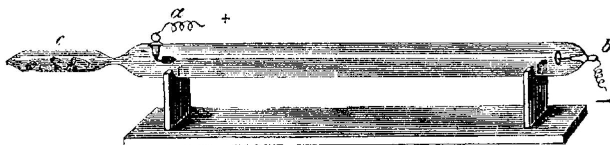
* * *

Pokusi Crookesovi. Svjetlost katode. Godine 1879. pokazivao je Englez Crookes (čitaj: Kruks) u Londonu sjajne eksperimente s električnom strujom, koji su pobudili već po svom sjaju općenu pažnju u cijelom naobraženom svijetu, a u krugovima stručnjaka po načinu, kako je Crookes kušao da tumači svoje lijepe eksperimente. Tih se eksperimenata moramo taknuti, da razumijemo, što je poslije došlo.

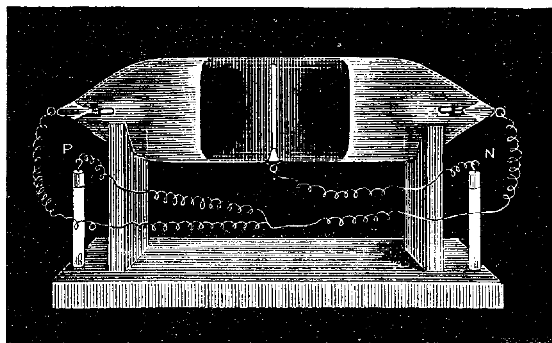
Poznato je svojstvo dosta napete elektricitete, da se kroz uzduh izjednače pozitivna i negativna elektriciteta u obliku sjajne i glasne iskre, koja će od pozitivnoga skočiti negativnomu polu. Ruhmkorff je sagradio aparat, koji daje veoma napete električne struje, pa izmedju njegovih polova znadu preskakivati u uzduhu električne iskre duge 2—100 cm prema veličini aparata. Dobro su poznati ti aparati uz ime „induktor". Već prije Crookesa puštao je Nijemac Plücker struju induktora u staklene cijevi, u kojima je uzduh što jače razrijedio. Žice od platine, utaljene u staklo, dovodile su i odvodile struju. U tim „Geisslerovim"* cijevima pokazivali su se već lijepi pojavi električne svjetlosti u razrijedjenim plinovima. No dok je Geissler u svojim cijevima razrijedio plin na $\frac{1}{1000}$ njegove gustoće, išao je Crookes mnogo dalje: u njegovim je cijevima uzduh ili plin obično bio razrijedjen na $\frac{1}{30000}$. Tlak je uzduha u svojim cijevima znao Crookes pomoću savršenih sisaljaka smanjiti na jednu milijuntninu atmosfere! Kad je napetu struju induktora puštao u ovake cijevi, pokazali su mu se prezanimljivi i sjajni pojavi. Evo ih ovdje nekoliko.

* Isp.: Kučera, Crte o magnetizmu i elektricitetu. Izd. „Mat. Hrv." 1889. str. 180.

Pustiš li struju induktora u običnu Geisslerovu cijev, dugačku nekih 30 cm, pokaže ti se u cijevi oko negativnoga pola plavkasta slabašna svjetlost, a na pozitivnom tamno crvena, veoma lijepa pruga svjetlosti, koja seže daleko u cijev — gotovo do negativnoga pola. Ako je u Geisslerovoj cijevi drugi kaki plin mjesto uzduha, pokazuju se druge boje. Takvu cijev pokazuje naša slika 214. Kod *a* ulazi pozitivna struja, a kod *b* izlazi iz nje, a negativna tamo ulazi. Kod Crookesovih aparata nose krajevi u staklo utaljenih žica u nutrinji



Sl. 214. Fosforesciranje stakla od katodnih zraka.

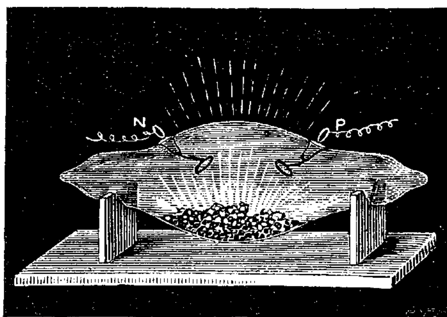


Sl. 215. „Tamni prostor" katodnih zraka.

cijevi male okrugle pločice od aluminija. Negativni se pol obično zove „katoda", a po tome i svjetlost, koja se oko njega kupi, katodna svjetlost.

Posvema se drukčiji pojavi pokazaše u Crookesovim cijevima. Sl. 215. pokazuje cijev, koja ima u sredini jedan pol u obliku pločice, a na krajevima druge polove. Onaj pol u sredini bude negativan, a oba pola na krajevima, žicom sastavljeni, budu pozitivni, kad se pusti električna struja u cijev. Ako uzduh cijevi nije veoma rijedak, pokaže se s jedne i druge strane negativnoga pola uzak taman prostor;

no kako je uzduh u cijevi veoma rijedak, kao u naslikanoj cijevi, taj se tamni prostor raširi od negativnoga pola tako daleko, da napokon ispuni čitavu cijev. S ovakim cijevima izveo je Crookes svoje lijepe eksperimente. Nevidljive nekake zrake izlaze iz negativnoga pola u Crookesovoj cijevi. No kako te zrake udare o kakvo tijelo, koje im se opire gibanju (ovdje stijene staklene cijevi), očituju se smjesta našemu oku: čitava materija, o koju udaraju, zasvijetli nekakvom osobitom svjetlosti, fizik bi rekao, ta materija fluorescira. Stijene stakla zasvijetle zelenkastom svjetlosti, koja traje dotle, dok električna struja induktora ide. Obustaviš li ju, utrne s mjesta i ova zelenkasta svjetlost stakla. Ali nije staklo jedino čvrsto tijelo, koje fluorescira, kad o nj udare one nevidljive zrake iz negativnoga pola. U jednu svoju cijev metnuo je Crookes dijamant, i on je zasjao sjajnom zelenom svjetlosti. Uz dijamant s te je strane veoma zanimljiv i rubin. U sl. 216. eno vidiš u cijevi hrpu rubina. Čim uvedeš struju induktora, zasjat će rubini u tamnoj inače sobi, rumenom žarkom svjetlosti, kao da ih je netko ražario u jakoj vatri. U cijevi je bilo svakojakih prirodnih rubina od sasma blijedih, gotovo bez ikake boje, od žutih pa sve do tamno-crvenenih (kao što je golubova krv), koji se najviše cijene. Svi zasjaše gotovo istim sjajem.

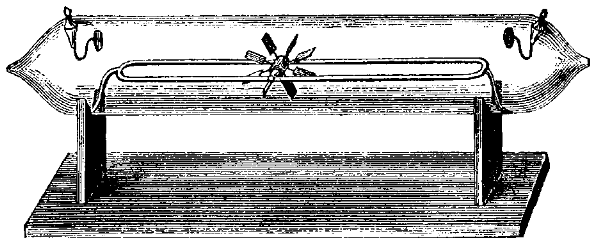


Sl. 216. Fosforesciranje rubina od katodnih zraka.

Lijepi ovaj pojav zavisi o stupnju, do kojega je uzduh razrijedjen u cijevi. To je Crookes lijepo pokazao cijevlju u slici 214. Polovi su na njoj kod *a* i *b*, ali na kraju *e* još je dodana mala cjevčica u pomoć, koja je s velikom sastavljena preko uzahnoga kanala. U njoj je nekoliko komadića kaustičnoga kalija. Iz cijevi je Crookes najprije što bolje izvukao uzduh, pa onda kalij ugrijao; pare su kalija napunile praznu cijev; opet je pare i ono nešto uzduha, što je u cijevi ostalo, isisao i to je radio ponovno, dok je cijev konačno zatvorio. Vakuum (praznina) je u cijevi tolika, da iskra induktora ne će više da prolazi kroz cijev.

Ugriješ li samo malo kalij, izaći će iz njega trun vodene pare; odmah će struja kroz cijev i staklo će joj zasjati poznatom zelenom svjetlosti. Nastaviš li grijati kalij, izlazit će iz njega sve više vodene pare. Zelena svjetlost postaje sve slabija, napokon preleti kroz cijev oblačak svjetlosti, kao val, pokazuju se vrste svjetlosti, koje postaju sve gušće i napokon se vijuga iskra kroz cijelu cijev kao purpurna uska i svijetla crta!

Ukloniš li lampu, ohladit će se kalij i opet će progutati vodenu paru, što ju je istjerala toplina. Purpurna se crta sve više širi i rastavi u vrste; ove se razilaze sve dalje i sele prama kaliju. Najednoč zasja na drugom kraju cijeli val zelene svjetlosti, koja i zadnju vrstu otjera i cijev u cijeloj dužini svojoj opet fluorescira predjašnjom krasnom zelenom svjetlosti. Kad nestane i zadnjih tragova vodene pare iz cijevi, praznina je opet tolika, da struja ne može kroz cijev, i svjetlost utrne.

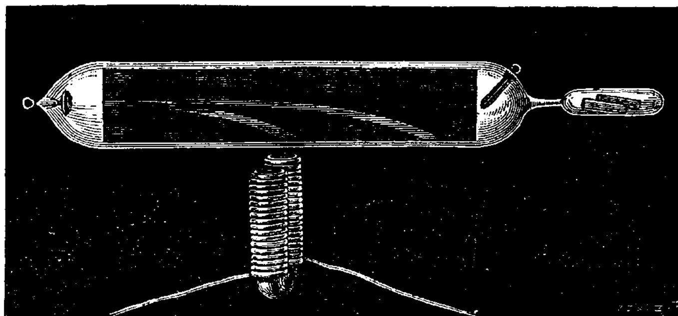


Sl. 217. Mehanično djelovanje katodnih zrakâ.

Pravo su čudovište te nevidljive zrake, što izlaze iz negativnoga pola (katode), vrijedne, da im još podjemo tragom: Crookes je načinio cijev u koljeno i htio da prisili one zrake, da idu oko ugla iz jedne polovice cijevi u drugu. Toga ne htjedoše! Polovina cijevi s negativnim polom zasjala je zelenom svjetlosti, a druga s pozitivnim polom ostala je tamna: zrake izlaze dakle iz negativnoga pola i šire se samo u pravcima. Gdje je u cijevi pozitivni pol, to ne odlučuje ništa. Ako je negativnomu nasuprot, dobro je; no ako je on ma gdje na strani, ne utječe on u onim vrlo razrijedjenim cijevima gotovo ništa na nevidljive zrake, što izlaze iz katode: one izlaze uvijek u pravcima iz katode i gdje udare o staklo, ondje staklo zasvijetli zelenom svjetlosti.

Da to još bolje pokaže, izveo je Crookes ovaj krasni pokus: U staklenoj posudi, nalik na krušku, negativni je pol na kraju

U sredini je krst od aluminija, koji je ujedno i pozitivni pol. Zrake, što dolaze od negativnoga pola, hvata krst djelomice i na zaokruženom drugom kraju posude, koji fluorescira od zrakà, što su prošle kraj krsta, vidiš tamnu sliku krsta: zrake od katode bacaju dakle i sjenu. U drugoj opet cijevi (sl. 217.) namjestio je dvije staklene šinje, koje usporedo teku od jednoga kraja cijevi do drugoga. Na šinjama se valja os kotača, kojemu su na žbice nataknute lopatice od tinjca. Na svakom je kraju cijevi, nešto iznad sredine, po jedan pol od aluminija. Zrake, što izlaze iz katode i lete kroz cijev, moraju dakle da udaraju uvijek o gornje lopatice kola i kolo se stane okretati i leti po šinjama od jednoga kraja k drugomu. Ako polove premjestiš, ići će kolo natrag. Pače i uzbrdo mogu tjerati ove čudne nevidljive zrake naše koleśce!

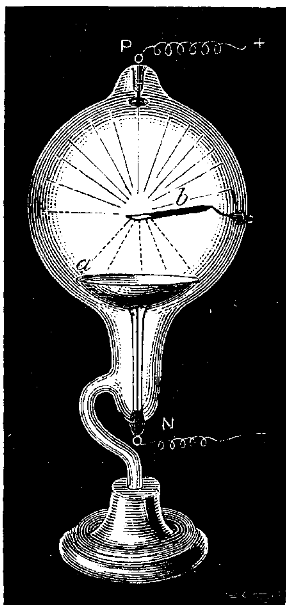


Sl. 218. Magnet otklanja katodne zrake.

Još sam rad jedno svojstvo ovih čudnih zraka iz katode istaknuti. U sl. 218. vidiš opet Crookesovu cijev s pomoćnom kalijevom cijevi na desnom kraju. U cijevi je vakuum, pa električna iskra ne može kroz nju od jednoga pola do drugoga. Ugrijavši nešto kalij, ući će u cijev nešto pare i struja će prolaziti. Iz negativnoga će pola (lijevo) izlaziti opet nevidljive zrake u pravcima i cijev će zasjati zelenom svjetlošću uzduž smjera ovih zraka, koje će se još bolje vidjeti na tamnu zastoru u cijevi. Podmetneš li sada pod cijev jak elektromagnet, vidjet ćeš, kako se svijetla crta savija dolje k magnetu, baš kao da si iz topa ispalio zrno, koje se u krivulji spušta k Zemlji. Magnet ovdje zastupa silu težu. Poznato je svakomu: što je veća brzina zrna iz topa, to će plića biti i krivulja, po kojoj leti zrno k Zemlji: umanjim li makar kako brzinu zrna (na pr. tim, da mora

letjeti kroz gušće sredstvo), bit će i krivulja zrna strmija i prije će pasti na Zemlju. To se i u ovoj cijevi veoma lijepo pokazuje: ugrij samo kalij, pa je u cijevi više vodene pare. U istom će ti trenu to pokazati i svijetla materija u cijevi: krivulja postaje strmija.

Pogledajte opet sl. 219. U staklenoj je kugli uzduh opet veoma razrijedjen. Negativni pol je zdjelica od aluminija *(a)*. Poradi toga se zrake, koje izlaze iz negativnoga pola, sastaju u jednoj točki u žarištu (focus) i padaju ondje na pločicu i ridio-platine (kod *b*), koja se veoma teško tali u vrućini. Pločica je usred kugle. Kad je Crookes poslao struju, svoga induktora u onu posudu, najprije slabije, pa tek kasnije s potpunom snagom, ugrijala se pločica u žarištu tako jako, da se je do bjelila usjala. Primaknuo je kugli magnet, pa je tako žarište odmaknuo sa svoga mjesta na drugo mjesto pločice, ili čak sasvim na stranu. Pločica se ražarila svagda na drugom mjestu, ili se nije u opće ražarila. Kad je napokon pustio struju cijelom snagom u kuglu, platina se tako ražarila, da nisi mogao u nju ni gledati, a napokon se stala taliti. A valja znati, da se ova smjesa tek tali, kad joj je temperatura oko 1800° C!



Sl. 219. Katodne zrake razvijaju toplinu.

Zrake dakle, koje izlaze iz katode, znadu i jako ugrijati ono tijelo, na koje padaju. Tako se dogadja često, da se i staklo cijevi same na onom mjestu, gdje katodne zrake udaraju o nj, toliko ugrije, da se razmekša: tlak ga izvanjega uzduha utisne, u sredini se probije, uzduh udje u cijev, koja onda više ne valja.

Nisu li gotovo sama čudesa, što ih gledamo u tim Crookesovim cijevima? Nevidljive nekakve zrake, što izlaze iz negativnoga pola, učine, da čvrsta tjelesa, na koja padaju, zasvijetle, najbolje kad je tlak uzduha u njima od prilike jedna milijuntnina atmosfere; te zrake izlaze samo iz katode, idu u cijevi samo u pravcima, bacaju sjenu, ugriju jako tjelesa, a magnet ih otklanja iz njihova smjera.

Kud su ovi ekseperimenti Crookesovi svojom elegancijom na se svrnuli općenu pažnju stručnjaka i nestručnjaka, makar da su gotovo u isto doba, pače i nešto prije i drugi vidjeli ove čudne pojave, tud su izašli na još veći glas po načinu, kako ih je Crookes kušao rastumačiti.

Poznajemo materiju u trojakoj agregaciji: kao čvrsto tijelo, kao tekućinu i kao uzdušninu ili plin. Po novijem su istraživanju molekuli čvrstih tjelesa jedan drugomu veoma blizu, ali nisu nikada na miru, nego kršću veoma brzo tamo i amo oko srednjega nekoga položaja; molekuli su u vječnom titranju i u tom tražimo uzrok toplini tjelesa. U tekućina su molekuli već mnogo dalji i njihovi titraji imaju već tolike zamahe, da su svaki čas spremni, ako je tomu i najmanji povod, odletjeti, dok ne udare o drugi molekul. A što je uzdušnina? Uzdušninu si predstavljamo kao bezbrojnu hrpu molekula, koji uvijek bez prestanka lete na sve strane velikim brzinama. No jer ih je mnogo, prirodno je, da ne mogu daleko letjeti a da ne udare o druge molekule. Ako razrijedimo uzduh ili koji drugi plin u zatvorenoj posudi, bit će i broj molekula u toj posudi mnogo manji i svaki će sada moći mnogo dalje letjeti pravcem, a da ne udara o drugi. Što je manje molekula u posudi, to će im veći biti slobodan put. Tjera li se razrjedjivanje plinova veoma daleko, kako je to uradio Crookes, pokazuju ovi veoma razrijedjeni plinovi sasma nove pojave, kojih u običnih plinova ne vidimo. Poradi toga mislio je Crookes, da je materija u njegovim cijevima u novoj, četvrtoj agregaciji, kojoj je dao ime „žareća materija“. Materija je u ovom vanredno razrijedjenom stanju toliko različna od običnih plinova, koliko su oni različni od tekućine.

Tamni prostor oko negativnoga pola postaje to veći, što su veći slobodni putovi molekula i kad ih je već veoma malo u cijevi, tamni prostor ispuni čitavu cijev, t. j. molekuli mogu da lete slobodno od jednoga kraja cijevi do drugoga, a da ne udare o druge molekule. Kad ovi molekuli, tjerani od katode, velikom brzinom u odredjenom smjeru, udaraju o stijenu posude katodi nasuprot, izvode svojim bombardementom ondje poznato fluoresciranje i sve ostale opisane pojave. Po Crookesu bila bi po tom razlika izmedju običnoga plina (treća agregacija materije) i „žareće materije“ (četvrta agregacija) u tom, da u običnom plinu molekuli lete velikim brzinama na sve strane, dok ne udare o druge molekule ili o stijene posude, od kojih se odrazuju, dok u žarećoj materiji svi molekuli lete istim smjerom,

dok ne udare o stijene posude, u kojoj su zatvorene, pa ondje bude poznatu svjetlost.

Je li doista pred nama nova agregacija materije, kako misli Crookes, toliko različna od poznate treće, da pokazuje sasma nova svojstva, kojih nema u običnih plinova? Smiju li se opisani pojavi doista tumačiti bombardementom tih brzih molekula žareće materije, zatvorene u cijevi? Mogu li se ti pojavi u opće pripisivati onomu trunku materije, koji je još ostao u Crookesovim cijevima?

Ova su pitanja bila povod, da su se istraživanja o tim pojavima veoma razmahala iza predavanja Crookesova u 49. godišnjoj skupštini britskoga društva za unapredjivanje nauka, u kojoj je on pokazivao svoje eksperimente i iznio svoju hipotezu o žarećoj materiji.

Zanimljivo je, kako Crookes obrazlaže svoje mišljenje, da je bombardement molekula uzduha, što lete od katode, uzrok ovim zagonetnim pojavima u njegovim cijevima. Tä on se je baš upro, da uzduh iz cijevi što više izvuče! Postigao je posebnim savršenim sisaljkama, da je tlak uzduha u njegovim cijevima bio tek milijunti dio od tlaka uzdušnoga na površini zemaljskoj, a to će reći: tlak uzduha na površini zemaljskoj drži u barometru stupac žive visok 760 milimetara: uzduh pak, koji je još u Crookesovoj cijevi, držao bi stupac žive milijun puta manji, t. j. tek stupac visok $\frac{1}{1000}$ jednoga milimetra!

No obični uzduh već nije veoma gusta tvar, tä mi se u njem tako lako gibamo, kao da ga i nije! Spram vode je na pr. uzduh 773 puta rjedji. Ako je u Crookesovoj cijevi ostala tek milijuntina toga uzduha, svakako ga je tako malo, da bismo mogli cijev okrstiti p r a z n i m p r o s t o r o m (vacuum). Pa kako da ti trunovi uzduha mogu biti povod sjajnim i zagonetnim pojavima, opisanima u predjašnjem članku? Evo ovako.

Grdno bi se varao, tko bi mislio, da u Crookesovoj cijevi nema gotovo ništa uzduha. Uzduh je sastavljen od velike množine molekula kao i svako drugo prirodno tijelo. Koliko ih je na pr. u jednom kubičnom centimetru? Nitko ih nije prebrojio, jer su tako sitni, da se otimlju brojenju tjelesnim okom, makar se oko naoružalo i najjačim mikroskopom. Nema ni nade, da će oko čovječje ikada vidjeti jedan molekul. No nauka je drugim putovima kušala, da odgovori na ovo pitanje: duševno je oko čovječje prebrojilo molekule u jednom kubičnom centimetru običnoga uzduha. S t o n e y je našao, da ih je t i s u ć u t r i l i j u n a (1.000,,,000000,,000000,000000). U Crookesovoj

kugli, koja je imala premjer 13·5 centimetara, ima ih po tom jedan kvadrilijun i još više! (1 000000 000000 000000 000000). Ako sada iz ove kugle izvučemo toliko uzduha, da tlak bude tek jedna milijuntina jedne atmosfere, ostao je u kugli još uvijek jedan trilijun molekula uzduha, — dosta, da razumijemo opisane pojave.

To su sve brojevi, kojih mi našim iskustvom ne možemo ni omjeriti. Da ih bar donekle primakne poimanju, opisuje Crookes ovaj pokus.

Recimo da je u jednoj od Crookesovih cijevi doista vakuum. Na jednom ju mjestu probijemo električnom iskrom. Ondje postane fina, mikroskopično malena rupica, no ta je dosta velika, da molekuli izvanjega uzduha kroz nju ulaze u kuglu i vakuum po malo unište. Recimo, da su molekuli uzduha tako sitni, da ih 100 milijuna kroz rupicu udje u svakoj sekundi u kuglu. Što mislite, pita Crookes, koliko bi trebalo vremena, dok se kugla opet napuni uzduhom? Sat? Dan? Godinu? Stoljeće? Ne, gotovo vječnost! Toliko bi trebalo vremena, da ga ni najbujnija fantazija ne može pojmiti. Recimo, da je ta kugla probušena, kad je postajao sunčani sustav, recimo, da je bila svjedokom postajanju Zemlje i gorostasnim revolucijama njezinim za geoloških perioda; recimo, da je bila svjedok prvomu pojavu živoga bića na Zemlji i da će biti svjedok posljednjemu dahu posljednjega čovjeka na Zemlji, recimo pače, da će kuglica ostati i do onoga časa, kad će po računima matematičara utrnuti Sunce; sve to vrijeme od postanka sunčanoga sustava pa do časa, kad će utrnuti Sunce, dakle nekih 400 milijuna godina, jedva bi doteklo, da nam se kuglica napuni uzduhom, ako bi kroz mikroskopičnu rupicu ulazilo u svakoj sekundi 100 milijuna molekula!

Nasuprot tomu stoji iskustvo, da se takva kugla napuni za kratko vrijeme uzduhom. Da riješimo zagonetku, treba da si molekule pomišljamo još kud i kamo manje, tako malene, da u svakoj sekundi ulaze kroz rupicu u hrpama od nekih 300 trilijuna! — No s pravom primjećuje Crookes, da su svi ovakvi računi malo vrijedni; tek nam pokazuju, da je uzaludan posao brojiti molekule, baš tako, kao da bi htio u oceanu prebrojiti kapi vode.

No makar kako bili nepouzdani ovi brojevi, oni nam ipak pokazuju, da ni onaj prostor, u kojem se je tlak uzduha snizio na milijuntinu, još ni s daleka nije vakuum: molekuli su se tek uzajmice nešto razmakli, pa mogu po Crookesovu mišljenju letjeti slobodno na sve strane, dok ne udare o staklo. Leteći ovako u cijevi,

izvode sve lijepe pojave, što ih je pokazivao Crookes, a i nešto prije njega, u manje sjajnoj odori, Nijemci Hittorf i Goldstein.

S jedne strane sjaj i zagonetnost njegovih eksperimenata, a s druge još više njegov nazor o tumačenju ovih krasnih pojava, razmahali su u velike istraživanja o tim pojavima osobito u Njemačkoj, Austriji i Engleskoj. Nije ovdje mjesto, da im podjemo tragom. Na tom nas putu zanimaju tek najvažnije etape, koje su napokon dovele do senzacijonalnoga Röntgenova otkrića. Kako su na vidjelo izlazila nova svojstva katodnih zraka, tako se je po malo mijenjalo i mišljenje stručnjaka o tom, što su.

Velika je neprilika bila s početka u tom, što su katodne zrake bile zatvorene u cijevima s veoma razrijedjenim plinovima: do stakla bi došle, ovdje probudile onu zelenkastu svjetlost, ali iz cijevi ne htjedoše da izlaze, makar da je staklo posvema prozirno tijelo. Njemački je fizik Hertz tek god. 1892. otkrio, da katodne zrake doduše ne će da prolaze kroz staklo, ali zato prolaze kroz tanke pločice kovina. Njegovu je učeniku Lenardu u Bonnu (1894.) uspjelo na tom osnovu prvi put, da izvabi tajinstvene te zrake iz njihova zatvora u razrijedjenom uzduhu u naš obični uzduh, gdje ljudi žive, pa da ih sada pobliže ispituje. Postigao je to tim, da je u Crookesovu cijev ondje, gdje udaraju o nju katodne zrake, mjesto stakla ugradio tanku pločicu od aluminija, kroz koju su izlazile u uzduh. Idu li kroz uzduh? bilo je dakako prvo pitanje. Idu! Izlaze iz „prozorčića od aluminija“ i idu nevidjene u uzduhu na sve strane, ali ne daleko. Gube se naskoro u njem, od prilike kao zraka svjetlosti u vodi, kojoj si primiješao nešto mlijeka, pa si je tim pomutio. No ipak ih je Lenard mogao konstatovati bar nekoliko centimetara od prozorčića po tom, što su na zastoru, namazanu posebnim preparatom, probudile svjetlost, sličnu onoj na staklu Crookesove cijevi. A kad im je podmetnuo osjetljivu fotografsku ploču, djelovale su na nju kao i zrake svjetlosti. Osjetljivi fotografijski papir pocrnio je od njih kao od sunčane svjetlosti, kad je zastrta lakim oblacima. Dobivši ovako zagonetne zrake u uzduhu, mogao ih je Lenard kud i kamo bolje proučiti od svih svojih predšasnika, pa nije čudo, da je otkrio na njima i novih svojstava, kojih Crookes i njegovi nasljednici ne nadjoše. Magnetom ih je kao Crookes otklonio s njihova puta u pravcima; zastor, namazan platin-barium-cyanurom, zasjao je od njih, čim bi do njega doprle, lijepom, zelenkastom svjetlosti, a fotografijski bi papir s mjesta pocrnio. Puštao ih je i kroz cijevi, u ko-

jima nema ništa uzduha (dakle potpuni vakuum), pa je našao, da i kroz posvema prazan prostor sasvim dobro prolaze, makar da u njem ne mogu postati. Prema tomu bismo morali suditi, da Crookesovo mišljenje o katodnim zrakama ne stoji, jer se evo šire i u prostoru, gdje zaista nema ni jednoga molekula uzduha. No i u tom prostoru ima nešto, čega ni jedna uzdušna sisaljka ne može da izvuče, a to je eter, koji po našem mišljenju k nama prenosi i zrake svjetlosti od Sunca kroz prazni prostor svemirski. Čini se dakle, kao da su i katodne zrake u nekakovoj svezi s eterom, koji ispunjuje cijeli svemir. No još je čudniji obret Lenardov, da te katodne zrake, kad udare o tijelo, napunjeno elektricitetom, u tren oka posvema unište električni naboj, tijelo ostane posvema neelektrično. Elektroskop, postavljen blizu prozorčića, ispraznio se je odmah, a postavljen 30 centimetara od njega, gubio je polagano svoju elektricitetu. Opet nova zagonetka! Da je Lenard na svojim cijevima načinio nešto veće prozorčiće od aluminija, jamačno mu se ne bi bilo izmaklo otkriće Röntgenovo, jer mu je bio već posvema blizu. Dvije godine prodjoše, dok je slučaj donio Röntgenu njegov znameniti obret, koji ću sada tek opisati, jer je bilo nužno, da čitatelja upoznam s onim, što je bilo prije toga poznato. Bez toga ne bi mogao pravo razumjeti Röntgenova obreta.

Što su katodne zrake za pravo, to su nam pokazala tek novija istraživanja o njima. God. 1897. izašli su gotovo u isto doba Wichert i J. J. Thomson sa svojim mjerenjima o katodnim zrakama i ta mjerenja pokazaše, da su one zaista putovi materijalnih čestica, koje sve lete od katode velikom brzinom, ali svaka ima na sebi i nosi sobom neki negativan električni naboj. Gibanje tjelesa, o koja udaraju, podupire jako to mišljenje, a otklon njihov pomoću magneta govori za to, da imaju električan naboj. Crookesovo se mišljenje o bombardementu materijalnih čestica dakle potvrdilo, — ali tek donekle! Kolike su te čestice, koje bombardiraju? Jesu li molekuli, ili atomi plina, koji je u cijevi, kako je to mislio Crookes? Spomenuta mjerenja, a iza njih još mnoga novija mjerenja, donesoše nauci veliko iznenadjenje: čestice, koje transportiraju negativnu elektricitetu u katodnim zrakama, ne mogu da budu po svojoj veličini ni molekuli ni atomi, nego mora da su mnogo, mnogo manje; njihova masa može da bude jedva jedna tisućina od mase vodikova atoma! Nije bilo dakle druge, nego odustati od stoljetnoga mišljenja, da su atomi najmanje čestice materije, koje se ne mogu još dalje dijeliti!

Čestice katodnih zraka otkidaju se od svojih atoma utjecanjem jake električne struje i lete u cijevi brzinom, koja je jednaka $^1/_3$ od brzine svjetlosti (100.000 km u sekundi), a svaka nosi sobom malen negativan električni naboj.

Tim najsitnijim česticama materije nadjenuše ime „elektrôni" i mi baš sada živimo u najživljem istraživanju novih vidika, što nam ih je otvorila hipoteza, da se još i od atoma kemijskih počela mogu otkidati ovi sićušni „elektrôni." Obično su vezani uz svoje atome, pak treba da upotrebiš neku radnju, da ih od njih otkineš, pak da onda slobodni lete po prostoru. Pokazalo se je pokusima, da osvjetljivanje ultraljubičastim zrakama može da oslobodi elektrône kovina od njihovih spona s atomima kovine, a djelovanjem Röntgenovih zraka razvijaju se slobodni elektrôni iz atoma elementarnih plinova, na pr. kisika, dušika, vodika i dr.

Koliko bi bilo zanimljivo ova najnovija otkrića nauke iz posve novoga svijeta pojava dalje pratiti, ovdje tomu nije mjesta.

3.

Röntgenove zrake. U preznamenitoj jednoj sjednici fizikalno-liječničkoga društva u Würzburgu objavio je učenomu svijetu prvi put svoj zamašni obret profesor Röntgen (sl. 220.) koncem g. 1895.

Eksperimentovao je u svom laboratoriju s Crookesovom cijevi, iz koje je isisao gotovo sav uzduh. Kad je pustio u nju električnu struju, izlazile su iz katode (negativnoga pola) nevidljive zrake, koje su na suprotnoj strani cijevi budile zelenkastu fluorescenciju stakla. Znao je, da katodine zrake ne izlaze iz stakla. Da ukloni zelenkastu fluorescenciju cijevi, koja mu je ipak ponešto rasvjetljivala inače posvema tamnu sobu, omotao je čitavu svoju cijev crnim tankim kartonom i soba je bila posvema tamna: ni jedne zrake svjetlosti nije bilo u njoj ni onda, kad je električnu struju poslao u zamotanu cijev. No kad je namjestio nedaleko od nje zastor, namazan s jedne strane jur spomenutim preparatom (barium-platin-cyanur), opazio je, da je zastor zasjao svojom zelenkastom svjetlosti, ma da u sobi nije bilo nigdje ni zrake svjetlosti. Još je čudnije bilo, da je zastor zasjao i onda, kad je stranu, namazanu preparatom, otkrenuo od zamotane cijevi. Jasno je vidio tu slabašnu svjetlost, kad je zastor odmaknuo do 2 metra od cijevi Crookesove! Nije li to gotovo čudo? Soba potpuno tamna, preparat sam od sebe takodjer posvema taman, zasvijetli najednoč, kad ga doneseš blizu Crookesove cijevi, koja je zamotana posvema u crn

papir. Znao je Röntgen doduše, da je električna struja u cijevi izvela katodne zrake, pa da je nutarnja stijena stakla, nasuprot katodi, od njih zasjala zelenom svjetlosti (fluorescencija), no znao je i



Sl. 220. Röntgen.

to, da one zrake ne izlaze kroz staklo, a crni karton, kojim je omotao cijev, ne propušta ni sunčane ni električne svjetlosti baš ni trunak. Pa zaista, kad je svoje oko postavio tik pred karton, nije opazio ni traga ma i najslabijoj svjetlosti. Jasno mu je dakle bilo, da ovo ne-

nadano svjetlucanje njegova zastora ne može da potječe od fluorescencije stakla u crnom kartonu. Nije bilo druge, nego izjaviti, da ono svjetlucanje dolazi od „nečega“ nama do tada nepoznatoga, od nekakvih do tada nepoznatih i posvema nevidljivih zraka, koje prolaze bez ikakve zapreke kroz crn karton, pa onda i kroz papir zastora otkrenutoga od cijevi. A ipak dolaze zrake iz zastrte Crookesove cijevi, jer čim bi električnu struju obustavio, utrnula bi se s mjesta svjetlost na zastoru i zrakama nigdje u sobi ni traga. To nepoznato „nešto“ okrstio je Röntgen imenom „zrake X.“ Dalji pokusi mu pokazaše, da to „nešto“ prolazi i kroz tjelesa, kroz koja ne može da ide nikakva svjetlost. Tako je on na pr. medju cijev i zastor metnuo knjigu od 1000 strana i gle čuda: kako je poslao električnu struju u zastrtu cijev, zastor je planuo, makar i nešto slabije; zrake X prošle su dakle i kroz debelu knjigu. Upleo im je u put i cijelu igru whist-karata: zastor je opet planuo, makar i slabije, nego bez njih. Kad je pak umetnuo samo jednu kartu ili pak jedan list stanijola, prošle su zrake kroz njih, kao da im nije ništa bilo na putu! Tek kad je naslagao nekoliko vrsta stanijola, opazio je na onom mjestu zastora, gdje bi od sunčanih zraka bila sjena, da preparat nije planuo. Očito je bilo, da debele vrste stanijola tih zagonetnih zraka ne propuštaju. Upleo im je u put 2—3 centimetra debele daščice od jelovine: zastor je ipak planuo ondje, gdje bi morala biti sjena daščica, ali dakako mnogo slabije nego bez njih; i debela drvena daščica propušta dakle još dobar dio tih tajinstvenih zraka X. Pločica od aluminija, debela 15 milimetara, oslabila je dopuše fluorescenciju na zastoru dosta, ali je ipak ni ona nije mogla posvema uništiti. Nekoliko centimetara debele pločice od tvrdoga gumija (ebonita) propuštaju takodjer zrake X. Različne staklene pločice, jednako debele, propuštahu ih nejednako, najslabije pločice od flintstakla, u kojima je olova. Ponajslabije ih propuštaju olovne ploče, čim su iole debele. Zato ih upotrebljavaju danas, kad treba koje tijelo obraniti od zraka X.

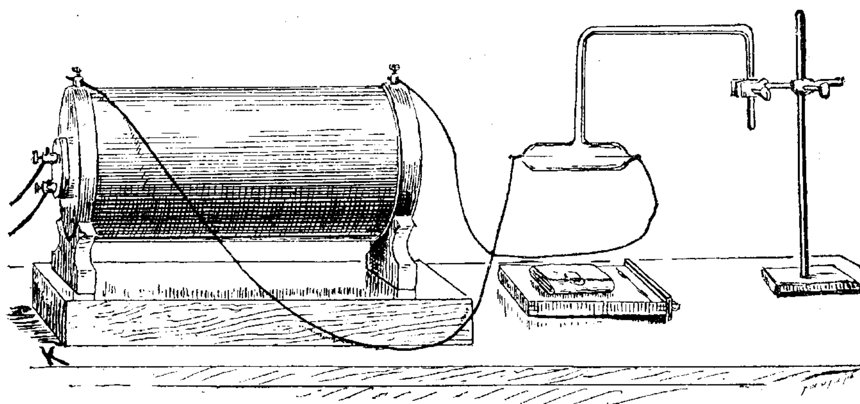
Kada te zrake X tako lako prolaze kroz drvo, aluminij, stanijol, debelu knjigu, crn karton itd., nije li gotovo na dlanu pitanje: a što je s čovječjim tijelom? I Röntgen je odmah u početku svojih pokusa na to svrnuo svoju pažnju i tako izveo jedan od najzanimljivih pokusa svojih, — onaj, koji je u širokoj publici pobudio najveću senzaciju. Kad je naime Röntgen u potpuno tamnoj sobi medju Crookesvou cijev zastrtu kartonom i svoj zastor umetnuo svoju ruku,

pokazale su mu se svaki put, kad bi kroz cijev poslao električnu struju, na zastoru tamne sjene kostiju u manje tamnoj sjeni ruke.

Meso, žile i mišice propuštahu dakle gotovo sasvim zrake X, dok ih kosti opet gotovo sasma ustaviše. Na rasvijetljenom inače zastoru pokazaše se tamne sjene kostiju u ruci i on je jasno mogao razabrati skelet svoje ruke.

Djeluju li zrake X i na fotografijsku ploču, koja je inače tako osjetljiva na sve zrake svjetlosti?

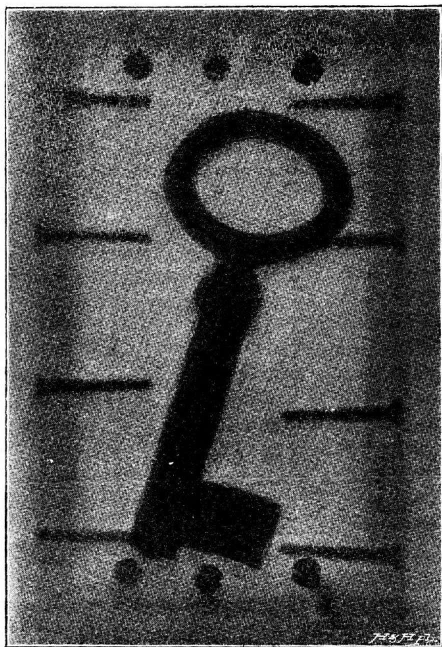
U laboratoriju, gdje je Röntgen izvodio svoje pokuse, bila je u drvenoj kaseti fotografijska ploča. Kad ju je razvio, opazio je na njoj utisaka svjetlosti, kakovih prije nije nikada našao kod svojih elek-



Sl. 221. Fotografovanje pomoću Röntgenovih zrakâ.

tričnih pokusa. Otkuda ti utisci? Nije ih mogao ničemu drugomu pripisati, nego svojim zrakama X, koje su kroz drvo kasete ušle do ploče i na nju djelovale. Dalji su pokusi, izvedeni u svim laboratorijima na zemaljskoj kugli, posvema utvrdili Röntgenovo mišljenje: zrake X zaista djeluju na fotografijsku ploču, kao zrake obične svjetlosti. Drvena kaseta pače ništa ne brani ploču od njih. Ova istraživanja o utjecaju Röntgenovih zraka na fotografijsku ploču najviše zanimaju široku publiku i donesoše prve praktične primjene ovih zraka. Priložena slika (sl. 221.) pokazuje raspored pokusa za fotografovanje Röntgenovim zrakama. Na lijevo stoji Ruhmkorffov induktor, koji svoju jako napetu struju preko dviju žica šalje u Röntgenovu cijev na desnoj strani, iz koje izlaze zrake X.

Nosi ju posebni držak na tronozi. Pod njom je na stolu najprije u drvenoj kaseti, ili u crn papir zamotana fotografijska ploča, a na njoj je novčarka od kože, okovana sa strane i s kovnim zatvorom na srijedi. U njoj je nekoliko komada novca od srebra, ili koje druge kovine. Pustiš li struju 5—10 minuta kroz Crookesovu cijev, bit će ploča dosta dugo eksponirana zrakama X. Kad ju po fotografskom propisu razviješ, naći ćeš, da partije kovina zrakâ X ne propustiše, dok je ploča na svim mjestima ispod kože sasma pocrnjela: znak, da su kroz nju prošle zrake X. Mjesta pak iza kovina ostadoše na razvijenoj ploči bijela: na njoj su dakle sjene svih tjelesa, koja su za Röntgenove zrake X neprozirna.

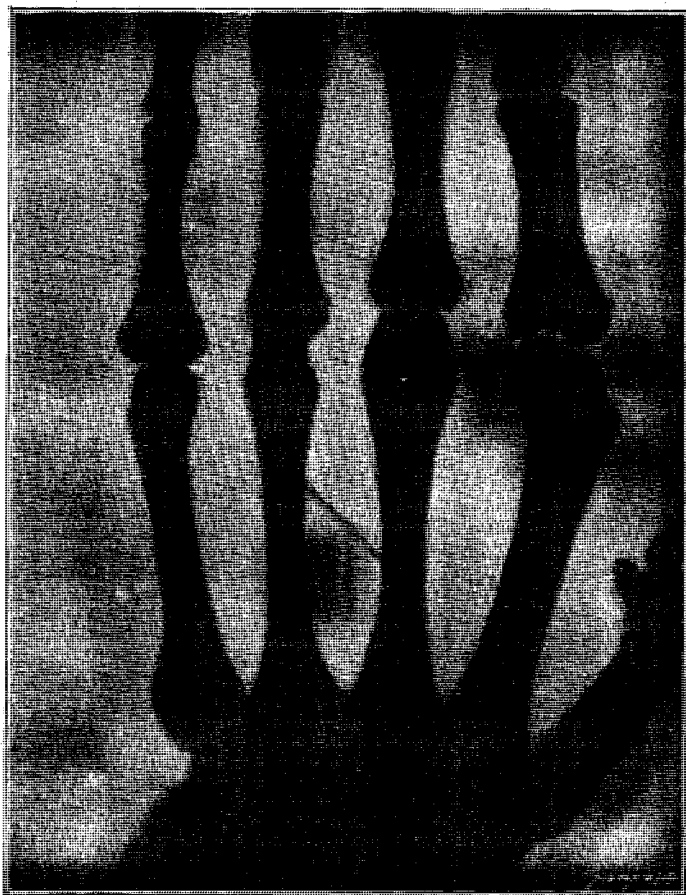


Sl. 222. Röntgenova fotografija.

Kako se je pokazalo, da su drvo i papir za zrake X mnogo prozirnije nego staklo, lako će svatko razumjeti, da se pomoću Röntgenovih zraka mogu fotografovati kovine, zatvorene u drvenim škatuljama, kojih oko ne vidi. Takva je fotografija, izvedena u Uraniji u Berlinu, ovdje priložena u reprodukciji (slika 222.). U drvenoj zatvorenoj kutiji bio je ključ. Röntgenove zrake prošle su kroz drvo bez zapreke na fotografijsku ploču, a ključ ih je ustavio. Vide se na njoj dobro i željezni šarafi, kojima su bile spojene daščice kutije. Ti su šarafi naravno bili skriveni u drvu.

Najzanimljivije su dakako bile fotografije, na kojima su se pokazivale unutrašnje česti čovjekova tijela, kojih oko ne vidi, na pr. kostiju u čovjekovoj ruci. Te su fotografije odmah umjeli i praktično upotrebiti, da vide u ljudskom mesu tjelesa, koja su u meso ušla bilo kojim načinom. I takovu fotografiju pokazujemo našim čitao-

cima u (sl. 223.). To je srednji dio ruke gospodje, koja si je četvrt godine prije fotografovanja zabila u jabučicu maloga prsta komad šivaće igle. Igla se je u ruci, kako to često zna biti, selila, pa se već nije znalo, gdje je u ruci. No ujedno se javiše nakon četvrt godine



Sl. 223. Röntgenova fotografija.

neugodne boli u ruci, koje su sezale čak do ramena. Ovdje priložena fotografija ruke, izvedena takodjer u Uraniji u Berlinu, pokazala je točno, gdje je onaj čas bila igla, i na tom ju je osnovu bilo lako izvaditi. Da nije bilo fotografije, traženje bi ovako sitnoga komadića igle

bilo zadalo mnogo posla i operacija bi bila mnogo teža. Nebrojeni su već slučajevi, u kojima se je medicina u sličnim prilikama okoristila ovakim fotografijama. Metode se razvijaju pred našim očima od dana na dan i danas već umiju gledati i utrobu živih ljudi pomoću Röntgenovih zraka X. Spomenut ću još i ovaj primjer iz druge grane nauke. U berlinskom muzeju ima jedini eksemplar Ichtyosaurusa i poradi toga se ne usudiše otvoriti životinju, da joj ispitaju unutrašnjost. Spies u Berlinu fotografovao je životinju Röntgenovim zrakamà i skelet joj se lijepo pokazao na fotografiji.

Je li čudo, da se je istraživanje ovih novih zraka u posljednjim godinama silno razmahalo, pak da danas nebrojeni stručnjaci po čitavom svijetu pomnjivo proučavaju svojstva ovih zraka, ne bi li se dovinuli spoznaji njihove prave naravi?

U prvi se mah moglo pričiniti, da imamo posla s nevidljivim zrakama svjetlosti poput ljubičastih, jer od Röntgenovih zraka svjetluca zastor platincijanira: samo bi valovi bili još kraći od valova ultraljubičaste svjetlosti. Ali tomu se opire činjenica, što Röntgenove zrake prodiru kroz neprozračna tjelesa, dok ultraljubičaste zrake toga svojstva nemaju; staklo ih pače još lakše apsorbira, nego zrake vidljive svjetlosti. Zajedničko im je pak svojstvo s ultraljubičastim zrakama, da krepko djeluju na fotografijsku ploču. Iz rasporeda pokusa izlazi, da Röntgenove zrake po svoj prilici nekako postaju iz katodnih zraka, jer najprije moram imati katodne zrake, da dobijem Röntgenove. No i od njih se u koječem razlikuju: dok katodne zrake ne mogu kroz staklo, Röntgenove zrake prolaze sasvim lako. S tim je u svezi i pojav, da se Röntgenove zrake ništa, ili jako malo odbijaju od tjelesa, jer što lakše prolaze kroz tjelesa, to se manje odbijaju od njih, i to se slabije lome u tjelesima. Pitanje je dakle, jesu li Röntgenove zrake u opće kakvo valovito gibanje, na pr. česticà etera. Dok se neprijeporno ne dokažu pojavi odbijanja, lomljenja, skretanja i polarizacije valova, ne može se o tom odlučiti. Najnoviji pokusi Hage i Winda, pa Blondlotovi (1902. i 1903.) kao da potvrdjuju ove pojave za Röntgenove zrake, no još će trebati dosta pokusa, dok se pitanje konačno riješi. — Od katodnih se zraka dalje razlikuju i u tom, što ne nose sobom nikakvih električnih naboja. To su dokazali supruzi Curie i Sagnac. Poradi toga ih magnet niti ne otklanja s pravoga njihova puta. No kad Röntgenove zrake padaju na konduktor, nabit elektricitetom, ispražnjuje se konduktor veoma brzo, kao od rultaljubičastih (str. 292.) i katodnih zraka. Uzduh dakle,

koji je oko konduktora, nije više dobar izolator, nego se pretvara utjecanjem Röntgenovih zraka u dobar vodič elektricitete; nauka bi rekla „uzduh se ionizira."

No sve su to tek počeci. Plodove znamenitih ovih obreta na koncu 19. stoljeća ubrat će tek dvadeseto stoljeće. Što su te čudne katodne zrake? Što su Röntgenove zrake? Što je u opće električna struja, koja je izvor jednima i drugima?

Sve same nove zagonetke čistoj fizikalnoj nauci, kojih danas ne umijemo odgonenuti. Prvi će deceniji dvadesetoga stoljeća imati jamačno pune ruke posla, da ih odgonenu, a što će sve odgovor na ova pitanja donijeti čovjekovu rodu, kakve li će nove zagonetke fizikalnoj nauci zadati, — tko bi mogao danas reći?

Što danas o tom stručnjaci misle, tek su prve hipoteze, koje se još nisu do volje ustalile, da bi mogle biti predmetom raspravljanja na ovom mjestu. Tek bismo htjeli, zaključujući ovo razmatranje, istaknuti ovo mišljenje. Ako se potvrde gore spomenuti pokusi Hage, Winda i Blondlota, da se i kod Röntgenovih zraka pokazuju pojavi valovitoga gibanja, mogli bismo si za sada o njima načiniti ovu sliku: Kad elektrôni katodnih zraka udare velikom žestinom o kakvu zapreku (na pr. staklo Crookesove cijevi), zatitraju i čestice etera u njihovim električnim nabojima od tih udaraca vanredno velikom brzinom i ti su titraji izvor valovitomu gibanju etera, koje nam se odaje u obliku Röntgenovih zraka. Ti bi valovi bili još mnogo kraći od ultraljubičastih.

No tko bi danas znao, kuda će nas izučavanje ovih novih pojava još dovesti! Ta mi smo danas tek oko bacili kroz mala vratašca u posve nov svijet pojava, o kojem do sada ništa ne znadosmo!

4.

Becquerelove zrake i radioaktivne tvari. Veliki obret Röntgenovih zraka *X* bio je dakako povod, da su se fizičari svih kulturnih naroda dali na posao, ne bi li pomoću pokusa mogli naći i drugih izvora za izbijanje nevidljivih zraka, koje imaju čudnovato svojstvo, da prolaze i kroz kovine. Pa nisu prošle ni dvije godine dana, i francuzki je fizičar Henry Becquerel mogao g. 1897. javiti učenomu svijetu novo, u nauci senzacionalno otkriće. Henry Becquerel, kojemu su djed i otac bili takodjer znameniti fizičari (navlastito mu je otac bio autoritet u području pojava fosforescencije, kojih smo se čas prije taknuli), otkrio je

naime tako nerazumljive pojave, da s početka nisu pravo ni vjerovali u ispravnost otkrića. Karakteristično je, da je Becquerel sâm već godine 1895., dakle čitavu godinu dana prije publikacije, prve svoje pokuse u toj stvari izveo bio, ali im i sâm nije — vjerovao! A zašto? Činilo mu se naime, da je novi pojav u protivurječju s osnovnim zakonom čitave mrtve i žive prirode — sa zakonom „održanja energije“, koji nas — stostruko potvrdjen u području svih prirodnih pojava — uči, da se kod svakoga prirodnoga pojava izvršuje neka radnja, da se ta potrošena radnja nikada i ni u kojoj prilici ne stvara iz ničega, nego da se svagda nadje neki izvor, iz kojega se crpi ta radnja, pa koliko je radnje pojav potrošio, baš za toliko se je zaliha radnje u izvoru umanjila.

Ako toj zalihi radnje, pohranjenoj u izvoru, damo naučno ime „energija“, mogli bismo sadržaj našega osnovnoga zakona prirodne nauke i ovako reći: kod svakoga prirodnoga pojava jedno tijelo energiju prima, a drugo je baš toliko izdaje. Ni trunak se te energije pri tom ne uništi, ali nema u prirodi ni pojava, kod kojega bi se makar trunak energije stvorio iz ničega.

Ako dakle fizik otkrije nov pojav, pa vidi, da se pri tom troši energija, prvo mu je pitanje: gdje je izvor toj potrošenoj energiji, gdje je zaliha radnje, iz koje se crpi?

Becquerelovo je otkriće bilo tako zagonetno, da se je njemu samomu, a i svim stručnjacima činilo, da vrhovni zakon čitave prirode u području ovih novih pojava — ne vrijedi! No kako nema danas ozbiljna ispitavača prirode, koji bi vjerovao, da se može taj osnovni zakon porušiti, počelo se je s mjesta na svim stranama uporno raditi, kako bi se ova zagonetka, ovo silno protivurječje riješilo. Radi se i danas, pa nema sumnje, da će se i riješiti, ako i nije danas već riješeno.

Mi stojimo danas još osupnuti pred sasvim novim, velikim područjem prirodnih pojava, velikim možda i zanimljivim, kao područje električnih pojava, a preko otkrića Becquerelova otvorila su se tek uska vratašca u taj novi kraj prirode, i mi smo od prilike u istom položaju kao oni ljudi, koji su prvi otkrili magnet i na njem gledali čudo nad čudesima, kako on najopćeniji prirodni pojav — težinu tijela — jednostavno uništi! Kako su prije 100 godina Galvani, Volta i Oersted otvorili vratašca u novo područje električnih pojava, iz kojih je izrasla u jednom stoljeću ponosna i jaka zgrada današnje elektrotehnike, tako je očito i

Becquerel prvi bacio oko u nov krug pojava, za koji danas nitko ne može da reče, što će nam donijeti, ali je općena slutnja, da će donijeti velikih stvari.

Čitava vojska stručnjaka radi s velikim sredstvima na prosvijetljenom zapadu i istoku, da pretraži sve kute i kutiće novoga kraja; nama je tek sudjeno; da gledamo s prikrajka rad većih i prosvijetljenih naroda. Rad je njihov to življi, što su nam zagonetniji ti novi pojavi. No mjesto refleksija evo otkrića samoga!

Kako Röntgenove zrake imaju svoj izvor u hladnoj svjetlosti, koja izbija iz plinova usjanih električnom strujom, bilo je gotovo na dlanu pitanje, ne bi li se takvih nevidljivih, tamnih zraka možda našlo i u drugim izvorima hladne svjetlosti, navlastito u tjelesima, koja u tmini dalje svjetlucaju, ako su prije toga bila neko vrijeme osvijetljena. Becquerel je poradi toga najprije izvodio pokuse sa solima urana, za koje se već od prije znalo, da živo fluoresciraju, kad se osvijetle. Komadić je take soli urana Becquerel zatvorio u olovnu kutiju i tu je kutiju metnuo na fotografijsku ploču, pomno umotanu u crn papir, kako ne bi ni otkuda na nju dospjele zrake svjetlosti, koje bi djelovale na ploču. A gle čuda! Kutija se je ipak naslikala na fotografijskoj ploči, kao i od Röntgenovih zraka. Iz uranove soli u olovnoj kutiji izbijaju dakle nekakve tamne nepoznate zrake, koje kroz olovo i kroz crn papir djeluju na fotografijsku ploču, dakle su nalik na Röntgenove zrake. I druga tjelesa, koja nakon osvijetljenja u tmini neko vrijeme svjetlucaju, izbijaju takve zrake. Becquerel je sâm eksperimentirao sa sumpornim kalcijem, koji u tmini svjetluca zelenkasto modrom svjetlošću. Osim ovih vidljivih zraka izbijaju iz njega zaista — dok svjetluca — i neke nevidljive zrake, premda je bio zatvoren u staklenoj cijevi; kroz lim od aluminija, debeo 2 mm, snažno su te zrake još djelovale na fotografijsku ploču! Ali izmedju zraka uranove soli i sumpornoga kalcija naskoro se pokazala Becquerelu ogromna razlika. Svjetlucanje sumpornoga kalcija zavisno je o tom, da ga prije toga osvijetljuju zrake svjetlosti, i gubi se u tmini malo po malo, pak ga napokon sasvim nestane. Uranova pak sô izbija svoje tamne zrake i onda, kad ju mjesece i mjesece držiš zatvorenu u olovnoj kutiji, tako da do njih nikada ne dopire ni jedna zraka svjetlosti. Becquerel je sâm još godine 1896. zatvorio takve soli u dvostruku olovnu kutiju, pak ih do danas nije nikada otvorio; ali iz tih tvari još i danas izbijaju kroz dvostruko olovno dno nepoznate tamne zrake, kao i prije toliko godina, i djeluju

jednakom snagom kao onda na fotografijsku ploču. Snaga se dakle nepoznatih zraka nije ništa umanjila, a sô urana nije izgubila ni danas moći, da izbija take zrake!

Kao što nevidljive ultraljubičasti zrake (isp. str. 289.) djeluju na neke osjetljive zastore, pak ovi zasvijetle, gdje o njih udaraju te zrake, tako se pokazalo i za „zrake urana", da i one djeluju kroz svoju olovnu kutiju na takve zastore, pak i oni od njih zasvijetle. Tim smo našli pouzdan način, da i nevidljive zrake urana pretvorimo u vidljive. Najnoviji preparati pače djeluju kroz svoju kutiju i kroz zatvorene vjedje oka na mrežnicu u našem oku, pak i na njoj bûdê osjet svjetlosti. Mrežnica je očito u tom slučaju osjetljiv zastor, koji od uranovih zraka zasvijetli. Becquerel je za te tajinstvene zrake predložio ime „uranske zrake." Tajinstvenost je njihova baš u tom, što taki komadić uranove soli godine i godine jednakom snagom izbija nekakve tamne zrake, koje djeluju na fotografijsku ploču i na osjetljiv zastor fluorescencije, a ni otkuda — što mi znamo — ne prima energije. Sasvim drukčije stoji stvar kod Röntgenovih zraka i kod sumpornoga kalcija. Kod prvih vidimo moćan izvor njihovoj energiji u električnoj struji, a kod drugih u valovima svjetlosti, koji na kalcij udarahu prije njegova svjetlucanja. Kod uranovih zraka ne vidimo nigdje izvora energije!

Kako se je nešto poslije Becquerelova otkrića pokazalo, da nisu jedine uranove soli, iz kojih izbijaju ovake tajinstvene tamne zrake, nego da ima još čitav niz takvih tvari, iz kojih ove zrake izbijaju pače u još mnogo većoj mjeri, nego iz urana, okrstili su nove zrake po lijepom običaju nauke, da se obretniku u analima nauke postavi spomenik, imenom njihova obretnika, pak ih danas poznaje cio svijet uz ime „Becquerelove zrake." Tim ćemo se imenom i mi služiti.

Sve pak tvari, koje imaju istu sposobnost kao uranove soli, da izbijaju ovakve zrake, dobile su zajedničko ime „radioaktivne tvari."

S početka se slabo vjerovalo novomu otkriću, premda je ime Becquerelovo u ljudi objektivnih i pravednih u prosudjivanju tudjega rada imalo dobar glas. Neprilika bijaše glavna u tom, što svi preparati urana ne imahu svojstva „radioaktivnosti", t. j. iz svake uranove soli nisu izlazile ove tajinstvene i nevidljive zrake. Pa tako se dogodilo, da su se stručnjaci sve do godine 1899. slabo bavili oko istraživanja novih zraka, no već godine 1900. vidimo, kako se

pune svi stručnjački časopisi radnjama o Becquerelovim zrakama, svagdje se nastoji oko toga, da bi se velika zagonetka suvremene prirodne nauke riješila, sve se više javljaju čudne vijesti o tim zrakama, ali sve završuju bolnim priznanjem, da se nismo još ni malo primaknuli riješenju zagonetke, otkuda im energija.

Naša će zadaća prema tomu biti, da ispričamo čudotvorna djelovanja tih novih zraka u glavnim crtama.

Naskoro iza Becquerelova otkrića pokazalo se je, da njegove zagonetne zrake izbijaju iz različnih spojeva urana, iz slobodnoga urana, a i iz različnih ruda, u kojima ima urana: iz uranova smolnika, bröggerita, kleveita, euksenita i dr., ali iz svih tih preparata izbijaju razmjerno slabo spram preparata, što ih fizičari gospodja i gospodin Curie (čitaj: Kiri) kemijskim putem izvode iz rude „smolnika" (Pechblende). To je kao smola crna i sjajna ruda, koje ima osobito u Joachimsthalu u Češkoj, ali je inače dosta rijetka ruda.

Osim urana našli su u njoj željeza, olova, magnezija, kalcija, silicija, arsena, bizmuta, selena, veoma rijetkoga vanadija i dr., dakle se vidi, da je veoma zamršena. Supruzi Curie izlučili su iz nje dvije nove tvari, koje im pokazivahu izbijanje zagonetnih zraka u mnogo jačoj mjeri, nego svi dotadanji preparati. Idući tim putem dalje nadjoše novo kemijsko počelo „radij", koje se uvijek priljubljuje kovini barij, pak poradi toga do danas još ne mogoše dobiti kemijski čistoga radija, nego za pravo barija, u kojem ima radija. Najbolji njihov preparat ima atomnu težinu 174, dok je atomna težina čistoga barija samo 137·5, dakle čisti radij ide svakako u red teških kovina, te mu danas znamo i karakteristične crte spektra. Iz iste su rude supruzi Curie izlučili još jedan preparat, koji je jako radioaktivan, t. j. iz kojega izbijaju zagonetne zrake u velikoj mjeri; u tom preparatu glavni je dio bizmut, pak su poradi toga mislili, da se bizmutu priljubljuje drugi novi kemijski element „polonij" (gospodja je Curie rodjena Poljakinja), koji da je nosilac zagonetnih zraka. No čini se, da to nije nov element, nego da je tu po srijedi nešto drugo. Debierne je mislio, da je našao i treće novo počelo, „aktinij", sa sličnim svojstvom, a Schmidt je napokon dokazao, da i rijetka kovina „tor", koja se danas toliko upotrebljava za fabrikaciju Auerovih čarapa kod njegove svjetlosti, u velikoj mjeri izbija Becquerelove zrake. Prema današnjemu stanju nauke može se uzeti za stalno dokazan samo jedan novi kemijski element, a to je radij. Najnoviji preparati radija — a te ima danas po svoj

prilici Giesel u Braunschweigu — izbijaju ove zagonetne zrake nekoliko tisuća puta jače nego prvi Becquerelovi preparati, no poradi toga i stoji jedan gram takova preparata nekoliko tisuća kruna!

Da uočimo sada iz bližega čudesne učinke tih novih „radioaktivnih tvari“!

Pokazalo se odmah u početku, da iz njih za pravo izbija smjesa veoma različnih zraka, koje po svojim učincima pokazuju postepeno sva svojstva od katodnih do Röntgenovih zraka. Zgodno se dijele te zrake u dvije vrste ili hrpe. Becquerelove zrake imaju prije svega dosta sličnosti s Röntgenovim zrakama X. I one mogu proláziti kroz neprozračne listove (tanke pločice) kovinâ, ili kroz crn papir, koji ne propušta svjetlosti, pa kroz drvo, kaučuk i dr. Ali snaga prolaženja veoma je različna. Jedan se dio Becquerelovih zraka veoma brzo izgubi (apsorbira) u podmetnutoj tvari, pak im se djelovanje na fotografijsku ploču veoma brzo umanjuje s debljinom podmetnute tvari, ali od neke debljine dalje postaje djelovanje baš razmjerno gustoći tvari. To pokazuje ova mala tablica od Strutta:

Ime	Apsorpcija (A)	Gustoća (d)	Omjer (H : d)
Platina	15·7	21·5	7·3
Olovo	62·5	21·5	5·5
Srebro	65·7	11·4	6·2
Željezo	52·2	10·6	6·7
Staklo	12·5	7·8	4·6
Aluminij	11·6	2·7	4·3
Karta	3·8	1·0	3·8
Sumporni dioksid	0·041	0·0076	5·4

Iz ove tablice razbiramo, da snaga prodiranja zavisi samo o broju čestica, koje su zrakama na putu, a ne o rasporedjaju tih čestica. Zanimljivih nam vijesti kazuje i inače ova tablica. Staklo je na pr. za Becquerelove zrake baš toliko prozračno, koliko i aluminij, a kolika je medju njima razlika spram zrakâ svjetlosti! Staklo propušta izvrsno zrake svjetlosti, a aluminij ne propušta niti jedne! Još je zanimljivije, da staklo Becquerelove zrake slabije propušta nego li debeo papir jedne karte! Za katodne smo zrake pak našli, da one u opće ne prolaze kroz staklo. U tom su dakle nove Becquerelove zrake veoma slične Röntgenovim zrakama, koje takodjer prolaze i kroz staklo i kroz papir i aluminij. Prema tomu bismo mogli suditi, da su drobnice, što ih neprestano i bez ikakva

izvanjega povoda izbacuju radioaktivne tvari, kud i kamo manje od drobnica u katodnim zrakama.

Još im je jedno svojstvo zajedničko s Röntgenovim zrakama. I Becquerelove zrake ispražnjuju veoma brzo električan naboj na kuglici elektroskopa, ako se napere na tu kuglicu: za čas se sva elektriciteta s kuglice izgubi u uzduhu! Iz toga izlazi, da uzduh po Becquerelovim zrakama postaje mnogo bolji vodič elektricitete, a to se znalo otprije i za Röntgenove zrake. Što je uzrok tomu, o tom kasnije.

S tim su u svezi i optična svojstva novih zraka. Znamo za zrake svjetlosti, da se sve — od ultracrvenih pak sve do ultraljubičastih — u prizmi lome, da se u turmalinu ili Nikolovu bridnjaku polarizuju, da se odbijaju po stalnom zakonu, da napokon i skreću sa svoga upravnoga puta. Tih svih svojstava Becquerelove zrake nemaju kao ni Röntgenove. Prema tomu bismo gotovo bili u napasti, da Becquereleve i Röntgenove zrake uzmemo za identične zrake. Ali već je Becquerel otkrio razliku: za Röntgenove se zrake zna izvjesno, da ih magnet ne otklanja s njihova puta, a nove se zrake — bar jedan njihov dio — otklanja s puta u jakom magnetskom polju, a u tom se opet podudaraju s katodnim zrakama! Ovaj dio Becquerelovih zraka [zovu ih u nauci „zrake β" (zrake beta)], prodire lako kroz kovine i druge zapreke, pak djeluje na fotografijsku ploču, ali se na elektroskopu jedva očituje, jer ih plinovi premalo upijaju (apsorbiraju), da bi se od njih prometnuli u dobre vodiče elektricitete.

Ali nisu sve zrake, što izlaze iz radioaktivnih tvari (na pr. iz radija), ovake naravi. Ima ih jedan dio, kojih magnet ne će da otklanja s njihova puta, a baš te zrake upijaju najrazličnije tvari veoma jako. Poradi toga ovaj dio Becquerelovih zraka izvodi u prvom redu ispražnjivanje električnoga naboja s kuglice elektroskopa, ali ne djeluje na fotografijsku ploču. Tomu drugomu dijelu Becquerelovih zraka daju u nauci ime: „zrake α" (zrake alfa). Njihovo je karakteristično stvojstvo, da jako djeluju na električni naboj u kuglici elektroskopa, pak ju za čas isprazne. Ovo se najčudnovatije svojstvo novih zraka očituje i drukčije. Ako u velikoj dvorani radi električan stroj, pak iz njega dobivaš krasne i jake iskre — znak, da je uzduh suh i da dobro izolira — treba samo u dvoranu stupiti s najmanjom drobnicom (nekoliko miligrama!) najboljih preparata od radija, sasvim zatvorenom dakako u olovnoj kutiji — i elek-

trični će stroj s mjesta prestati raditi: nije moguće iz njega dobiti ni jedne iskre, dok se čarobna kutija ne ukloni daleko od njega! Nije li to gotovo pravo čudo? Uzmimo, da je čarobna kutija sakrita u nečijem džepu. Kako da je nadješ? Opet pravo čudo! Morao bi dvoranu sasvim potamniti i zatvorenih očiju od jednoga do drugoga ići. Kad dodješ blizu kutiji, otkrit ćeš je po tom, da kroz olovnu kutiju, kroz odijelo i zatvorene vjedje oka čudotvorne zrake djeluju na mrežnicu tvoga oka, izvodeći osjet — svjetlosti!

Kad bi dakle te čudotvorne tvari bilo dosta u našoj atmosferi, nestalo bi za uvijek oluja, nikada ne bi bilo strijele ni groma, jer bi se električni naboji svagda na tiho izjednačili: čovjek bi svojom inteligencijom svladao i postao apsolutni gospodar najsilnijega prirodnoga pojava!

Kod katodnih zraka nadjosmo, da katoda izbacuje čitavu struju neizmjerno malih čestica, koje su nabite negativnom elektricitetom, pak leteći velikom brzinom kroz prazni prostor prenose i te negativne električne naboje s jednoga mjesta na drugo. I zrake su radija — i to zrake β — negativnom elektricitetom nabite, i one prenose tu elektricitetu s jednoga mjesta na drugo, kako su najprije dokazali supruzi Curie. Ovi električni naboji, vezani na neizmjerno male materijalne čestice, prodiru kroz kovine i druga tjelesa. Kad u Geisslerovu cijev pošalješ krepku električnu struju, razumjet ćeš napokon, da se od katode može otkidati čitava tuča najmanjih čestica, nabitih elektricitetom, koje velikom brzinom lete na sve strane i bombardiraju stijene stakla. No kako da to razumiješ na pr. kod radija, ili koje druge radioaktivne tvari, gdje ne djeluje nikakva struja, a ipak iz njih izbijaju neprestano i neoslabljeno ovake elektricitetom nabite najmanje čestice, a da se ni otkuda ta njihova sila ne naknadjuje! Kad pustiš, da na te zrake djeluje kakva izvanja električna sila, možeš pače zaključke izvoditi o tom, kolika im mora da bude brzina i u kojem je omjeru spram mase tih najsitnijih čestica. Becquerel je to prvi i učinio. Po njegovu bi računu brzina tih čestica bila 2—3 puta veća od brzine svjetlosti, a masa čestica tako malena, da bi radioaktivna tvar tek u jednoj milijardi godina izgubila — jedan miligram. Po računu supruga Curie izišlo bi nešto više: za milijun bi godina izgubila radioaktivna tvar već — čitava tri miligrama!

Pa ipak se kod radija radi o prilično velikoj energiji izbijanja: po Rutherfordu izbija iz jednoga grama radijeve soli u go-

dini dana energija = 3000 kalorija (kalorija = množina topline, koja je nužna, da se 1 kg vode ugrije za 1° C.).

Zrake su radija za čovječje oko nevidljive kao i Röntgenove zrake, no pomoću različnih tvari mogu se i Becquerelove zrake djelomice pretvoriti u vidljive zrake svjetlosti. Tako su na pr. Giesel i Himstedt (god. 1901.) opazili, da preparat radija, zamotan u crn papir i položen na zatvoreno oko, u njem budi osjet svjetlosti; čovjek osjeća, kao da je čitavo oko ispunjeno svjetlošću. No oko se veoma brzo umori za taj osjet. Čini se, da je tomu osjetu uzrok u tom, što staklovina u oku počne fosforescirati od Becquerelovih zraka, koje izbijaju iz radija.

No osim toga zasvijetle u blizini radijevih preparata i sve druge tvari, koje fosforesciraju od ultraljubičastih i od Röntgenovih zraka, ali nejednako. Svjetlost je u ovom brojnom omjeru: heksagonalni sjajnik (Sidotov sjajnik, dakle sumporni cinak) = 13·36; barijev platincijanir = 1·99; dijamant = 1·14; sulfat urankalija = 1·00; fluorkalcij (hloroform) = 0·30. Od tih se tvari danas najviše upotrebljava barijev platincijanir, namazan na papir, pak se njegovom pomoću dokazuju i ispituju jake Becquerelove zrake baš onako, kako se to već prije radilo s Röntgenovim zrakama.

Becquerelove zrake, navlastito iz radija, izvode u tjelesima, o koja udaraju, i kemijske učinke. Evo nekoliko tih učinaka, koji nisu manje čudnovati od dosada opisanih. Ako u radijevu kloridu ili bromidu ima još nešto barija, postaje sô žutkasta i crvenkasta, dok se čisti radijev klorid ne mijenja. Iz radijeva se bromida po Gieselu neprestano izlučuje brom; stakla, u kojima se čuvaju preparati radija, postaju najprije crvenkasta, onda ljubičasta i napokon crna. Žuti barijev platincijanir od Becquerelovih zraka po malo potamni i onda ne će više da fosforescira, ali to svojstvo dobije natrag, ako se rastopi i ponovno kristalizuje. Bijeli se fosfor od njih pretvara u crveni. Gorušično sjeme izgubi od njih snagu klicanja. Klorofil se od njih razori. Na koži se ljudskoj jave nakon dužega djelovanja tih zraka upale, slične ranama, kad se koža opali. Becquerel je na pr. nekoliko decigrama jakoga radijeva preparata, koji je bio u zapečaćenoj staklenoj cijevi, a ova u omotu od kartona, nosio nekih 6 sati u džepu prsluka, pa mu se nakon 10 dana, kad već davno nije tamo bilo radija, ondje javila žestoka upala kože i tek nakon 49 dana zacijelila je rana!

Jake zrake radija pretvaraju obični kisik uzduha u ozon, a to isto čine i električne iskre, koje skaču kroz uzduh, i tim u eteru izvode električne titraje. Poradi toga su mislili, da će možda Becquerelove zrake djelovati i na koherer Marconijeva telegrafa, no Himstedt toga nije našao. Poznato je, da zrake svjetlosti, ako padaju na selen, s mjesta umanjuju njegov otpor električnoj struji. To isto čine i zrake radija.

* * *

Prenesena radioaktivnost. Nije bilo dosta, što nam radioaktivne tvari izbijaju smjesu veoma čudnih nevidljivih zraka, koje prolaze kroz neprozračna tjelesa, pak onda djeluju i na fotografijsku ploču i na elektroskop i na tvari, koje fluoresciraju; Rutherford je na preparatima elementa tora otkrio još čudniju pojavu: iz njih izbija osim Becquerelovih zraka još nešto, što se od njih bitno razlikuje, i ima zaista čudotvorno svojstvo, da i druge tvari, na koje pada, pretvara u radioaktivne tvari, i ako one prije toga ne pokazivahu ni traga tomu. Mi danas dakle već možemo govoriti i o „umjetnim radioaktivnim tvarima“. Evo, što je na stvari!

Supruzi Curie izveli su ovaj pokus: Na horizontalnu su ploču metnuli aktivan preparat radija, a iznad njega su namještali u daljini od nekoliko milimetara pločice različnih tjelesa, iz kojih ne izbijaju nikakve Becquerelove zrake. Nakon nekoliko sati bile su sve te ploče radioaktivne, t. j. i iz njih su sada izbijale Becquerelove zrake. Jakost je tih zraka bila od prilike 50 puta veća, nego kod Urana, i za čudo su sve pločice (cinak, bizmut, mjed, olovo, platina, aluminij, nikalj, papir, karbonat barija i sulfit bizmuta) pokazivale ojednaku snagu zrakâ. Kad su pločice oprali, ostala im je aktivnost!

Još je poučniji ovaj pokus P. Curiea i A. Debiernea. U ovećem dobro zatvorenu sudu bila je mala bočica s veoma uskim grlom, a u njoj nešto radija. U okolini te bočice namjestiše pločice od bakra, olova, aluminija, stakla, ebonita, kartona i parafina. Sve se te pločice pokazaše nakon par dana jako radioaktivne, pak i u tom slučaju, da su izmedju bočice i tih pločica stajale odebele olovne ploče, koje ne propuštaju Becquerelovih zraka! Pločice dakle postadoše radioaktivne, a da na njih Becquerelove zrake i ne udarahu. Ovako stečena radioaktivnost izgubila bi se na slobodnu

uzduhu za 24 sata. Još je zanimljiviji protupokus! Kad su grlce bočici zatvorili, — ne postadoše pločice ništa radioaktivne. Ta dakle radioaktivnost izlazi iz bočice kao nekakva fina tvar (na pr. kao mirisava tvar kod mošusa), prenosi se po uzduhu od jednoga mjesta na drugo, a poradi toga je prenošenje to jače, što je manji prostor. Na osnovi se tih pokusa ne možeš oteti mišljenju, da iz radija (a i iz drugih radioaktivnih tvari) pored Becquerelovih zraka α i β izlazi još neka hlapljiva, radioaktivna tvar, koja se može sjesti na najrazličnija tjelesa, pak ih tako pretvara na kratko vrijeme u dosta jake umjetne radioaktivne tvari. Tomu nečemu — do sada sasvim nepoznatomu — dao je Rutherford ime „emanacija“. On je tu „emanaciju“ najprije opazio na toru, no odmah se pokazalo, da ju ishlapljuje i radij u još mnogo većoj mjeri. Čestice se te tanke nepoznate tvari osobito u kovinama znadu nakupiti, a to je Becquerel pokazao (g. 1901.) lijepim pokusom. Olovan bridnjak debeo 7·5 mm imao je na dužoj strani žlijeb i u njem jake radijeve soli 1 mm debelo naslagane. Jedanaest je mjeseci bila sô radija u olovu, pak kad je Becquerel nakon toga bridnjak 48 sati položio na fotografijsku ploču, pocrnjela je ploča jako. To djelovanje ne može da dolazi od Becquerelovih zraka, što ih izbija radij, jer bi te zrake morale bile prolaziti kroz olovo debelo oko 8 mm, a zna se, da one ne idu kroz tako debele ploče teških kovina. Mora se dakle uzeti, da je olovo postalo umjetno radioaktivno poradi duga dotika s radijem.

Mnogo se jače i brže mogu različne tvari aktivirati, ako ih utakneš na duže vrijeme u rastopinu, u kojoj ima radioaktivne tvari (na pr. radija), pak ih onda iz rastopine izlučiš fizikalnim, ili kemijskim putem. Tako na pr. možeš dobiti „radioaktivnu vodu“, ako ju destiluješ iz rastopine radijeva bromida. No ta voda izgubi svoju radioaktivnost nakon nekoliko dana. Tvari dakle, koje su u takim rastopinama, pokupe u neku ruku radioaktivnost i pohrane je u svojim česticama neko vrijeme.

No najzanimljivije je pri tom ovo: emanacija sama sasvim je različna od Becquerelovih zraka, nema njihovih svojstava; no kad se ta emanacija sjedne na koje tijelo, izbija to „aktivirano tijelo“ zrake, koje izvode sve učinke Becquerolovih zraka, navlastito ispražnjuju elektroskop, pretvarajući uzduh oko njega u dobar vodič („ioniziraju“ uzduh). Ali kad si uklonio uzrok toj umjetnoj radioaktivnosti, opet se pokazuje zagonetan pojav: aktivirano tijelo ne izbija

odmah Becquerelove zrake u punoj snagi. U jednom je pokusu Rutherfordovu umjetna radioaktivnost još nekoliko sati rasla, kad je tor već uklonio bio. Radioaktivnost je narasla na trostruku snagu od one, što ju je imala 5 minuta nakon toga, što je on tor uklonio bio, i 99 minuta kasnije još nije imala najveće svoje vrijednosti. Što to znači? Očito je, da prenošenje radioaktivnosti treba neko vrijeme, dok se u tijelu razvije do pune snage. Ako prihvatimo mišljenje, da umjetna radioaktivnost dolazi od neke tanke tvari, koja se slegne na tijelo, čini se, kao da se u tijelu zbivaju neka premještanja u molekulima tijela ili nekakve kemijske pretvorbe, koje trebaju nekoliko sati, dok napokon ne izvedu izbijanje Becquerelovih zraka u punoj snazi njihovoj. Danas se već može uzeti kao dokazano, da ta umjetna, ili, kako nauka veli, „inducirana radioaktivnost" zaista potječe od obaranja neke minimalne množine tvari (radija ili tora) na tijelo.

Sve umjetnim načinom aktivirane tvari izbijaju u opće iste zrake, kao i radij ili tor, koji ih je aktivirao: izbijaju zrake, koje magnet otklanja, i zraka, kojih ne otklanja; bûde luminiscenciju, pretvaraju uzduh u dobar vodič elektricitete (ioniziraju uzduh), djeluju kroz crn papir na fotografijsku ploču. No dok prirodna radioaktivnost u radiju, toru i drugim nekim tjelesima ostaje uvijek jednaka, gubi se umjetna ili inducirana radioaktivnost različnom brzinom, emanacija radija na pr. djeluje mnogo duže od emanacije tora.

I uzduh je radioaktivan. Ako nabiješ izoliran konduktor (na pr. kuglicu na elektroskopu) elektricitetom, gubi se po malo taj naboj u doticaju s uzduhom. To se ispražnjivanje ne može sasvim metnuti na račun staklene noge, na kojoj je konduktor; lako se možeš osvjedočiti, da se elektriciteta gubi i u uzduh. Ako konduktor ne stoji visoko iznad tla, gubi se pozitivan i negativan naboj gotovo najednako, ali brzina gubljenja zavisi bitno o stanju atmosfere. „Što je u njoj više prašine, dima ili magle", dokazuju Elster i Geitel (g. 1900.), „to se manje u opće gubi elektriciteta s konduktora u uzduh; najviše se gubi, kad je uzduh osobito čist, kad se uz modro, čisto nebo najdalje vidi."

Iz toga izlazi, da drobnice prašine zapada neznatna uloga kod ispražnjivanja električnih naboja u uzduhu i da glavni dio ispražnjivanja pada na to, što je uzduh sâm vodič elektricitete. Kako je dalje ispražnjivanje konduktora u zatvorenu prostoru neizmjerno maleno spram ispražnjivanja u slobodnu uzduhu, moramo uzeti, da u

ovom ima odredjen broj pozitivno i negativno nabitih drobnica, koje izvršuju ispražnjivanje konduktora, leteći na nj i dajući mu protivnu elektricitetu. U jednu riječ: u uzduhu je svagda neki broj molekula, koji su rascijepani u pozitivno i negativno električne drobnice, u „ione", kako se nauka izrazuje. Tko pak cijepa ovako uzdušne molekule?

Pokusi u zatvorenim prostorijama pokazaše, da ne potiče ni od kojega izvanjega izvora: zatvorene mase uzduha postaju same od sebe sve bolji vodiči elektricitete. Čas prije pak vidjesmo, da radioaktivne tvari pretvaraju uzduh u dobar vodič elektricitete, dakle bismo mogli pomisliti, da i u našem uzduhu ima uvijek radioaktivnih tvari, pak da su te uzrok tomu, što se molekuli uzduha onako cijepaju u električne drobnice. No kako u uzduhu nema čvrstih radioaktivnih tvari, na pr. urana, radija, tora i dr., morala bi se ta radioaktivna tvar u uzduhu svagdje nalaziti kao nekaki plin. Elster i Geitel pokušali su dakle, ne bi li se taj radioaktivni plin iz uzduha dao izlučiti i tim dokazati, da postoji. Dobro im je došlo iskustvo Rutherfordovo, da se emanacije radioaktivnih tvari osobito lako kupe na tjelesima, koja su negativno elektrizovana. Poradi toga razapeše 20 m dugačku žicu u uzduhu i nabiše je negativno do 10.000 volta 3 sata dugo. Žica je nakon toga zaista izbijala Becquerelove zrake, koje se očitovaše u tom, da ispražnjivahu kuglicu elektroskopa baš kao i komad uranskoga smolovca. Kasnije su i papir, platno i lišće mogli ovako aktivirati.

Ovako iz uzduha pribrana aktivnost držala se je u tjelesima po više sati, a nije se dala sâmim grijanjem istjerati; no kad su žice trli kožnatom krpom namočenom u amonijak, prešla je aktivnost u krpu, pače i u njezin pepeo! Žice bi ovu radioaktivnu tvar iz uzduha — jer očito se tu radi o nekakvoj tvari u uzduhu — to lakše primale i na sebi kupile, što je bolje uzduh vodio elektricitetu, dakle i na vrhuncima bregova i u zatvorenim prostorijama. U tim je prilikama žica primila toliku aktivnost, da je kožnata krpa, koja ju je od nje nakon trvenja preuzela, mogla i kroz pločicu aluminija djelovati na fotografijsku ploču, a zastor bi barijeva platincijanira od nje zasjao! Na temelju ovih pokusa možemo uzeti, da je i u našem uzduhu svagda i svagdje neka radioaktivna tvar, ili da bar taka tvar postaje na žici, kad se pozitivno električne drobnice rascijepana uzduha spoje s negativno električnim drobnicama (elektronima) na žici u nekakav prolazan spoj, koji se rastvara, izbijajući pri tom

Becquerelove zrake. No kako ove zrake jače prodiru kroz tjelesa, nego li zrake radija i tora, čini se, da ta radioaktivna tvar nije identična s emanacijom radija i tora.

Ovaj obret Elstera i Geitela veoma je važan: on nas je naučio, da možemo radioaktivnu tvar dobiti iz uzduha, koga je svagdje u obilju, dok smo do sada bili vezani na rijetke i veoma skupe minerale urana, iz kojih smo tek koju tisućinu procenta jakih radioaktivnih elemenata mogli dobiti. Ova će nas istraživanja dovesti ili do obreta novoga kemijskoga elementa u našem uzduhu, ili će nam možda pokazati, kako postaje radioaktivnost i što joj je prava bit.

No već na osnovi dosadanjih pokusa može se reći, da su karakteristično svojstvo radioaktivnih tjelesa njihove neprekidne pretvorbe. Izbijanje čudnih Becquerelovih zraka ide uporedo s tim pretvorbama. No produkti tih pretvorbi postoje samo kratko vrijeme: radioaktivne tvari kao da neprestano nestaje, a nova se neprestano tvori. No Crookes, Rutheford (g. 1903.) i drugi misle, da se tu ne radi o kemijskim procesima obične vrsti, nego da se kod tih pretvorbi radi o rastvaranju samoga atoma i da neko vrijeme postoje drobnice atoma, kojima daju ime „metabolon.“ Ovakvim radioaktivnim procesima postaju kratkotrajni produkti u tako malenoj množini, da obične kemijske i spektralne metode tih tvorbi već ne odaju; one nam se tek odaju u djelovanju novih zraka. Prema tomu je radioaktivna analiza kud i kamo savršenija od starijih metoda kemijske analize. Tako na pr. u uranskom smolovcu ne mogoše ni kojom kemijskom metodom dokazati radij; tek kada je uspjelo, da ga koncentrujemo, počeo se je odavati njegov karakteristični spektar; a ipak se danas mora radij brojiti u one kemijske elemente, koji su ponajbolje definovani i karakterizovani. Sva je dakle prilika, da će se ovom novom radioaktivnom analizom otkriti još nekoliko novih elemenata, koji će se onda kod dovoljnoga stupnja koncentracije odavati i običnim metodama. No kako su po svem, što danas o njima znamo, radioaktivne tvari u stanju neprekidnoga pretvaranja, bilo je opravdano mišljenje, da će iz njih nakon dužega vremena napokon postati tvorbe, koje više nisu radioaktivne, a tih bi se tvorbi moralo u većoj množini nakreati u onim prirodnim mineralima, u kojima je radioaktivnih tvari.

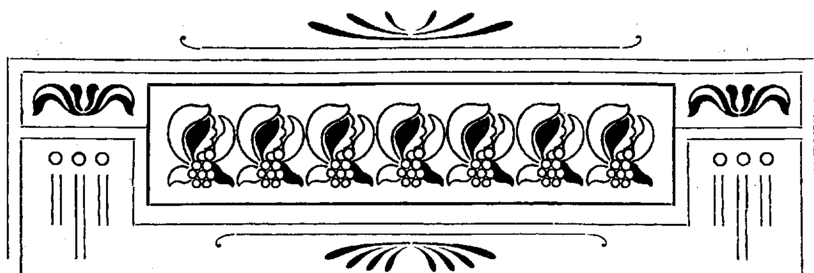
Rutherford i Soddy prvi su izrekli misao, da bi kod pretvorbi radija takav konačni produkt mogao biti poznati helij.

I baš dolazi vijest (g. 1903. pod konac), da se je ova slutnja pokazala kao činjenica, koja bi mogla imati velik zamašaj.

Kad su Ramsay i Soddy u vodi rastopili bromid radija, razvijao se plin. Uklonili su iz njega vodik i kisik i uveli u cijev posvema praznu („vakuum-cijev"). Plin je pokazivao spektar ugljične kiseline. Tu su ugljičnu kiselinu pomoću tekućega uzduha zgusnuli i spektar se je ugljične kiseline gotovo sasvim izgubio, a javila se je crta D_3 — karakteristična crta u spektru helija! Sada su ponovno emanaciju radija uveli u cijev oblika *U* i u njoj pomoću tekućega uzduha zgusnuli i friškim kisikom isprali. Kad su očišćeni plin uveli u vakuum-cijev, pokazao im se novi spektar, kojega još nisu ispitali. No kad je plin 4 dana već bio u cijevi, pojavio se je u njoj — spektar helija, i to uz poznate njegove crte još tri nove! Čini se dakle, kao da se je radij konačno pretvorio u — helij, t. j. jedan kemijski element u drugi. Ne treba isticati važnost ovoga najnovijega obreta, ako se on potvrdi i s drugih strana.

Obret radioaktivnih tvari svakako je prvi korak u područje fizike i kemije, koje je do sada bilo sasvim nepoznato. Nitko danas ne može reći, kakvih će nam novih vidika otvoriti u razokrivanju prirodnih tajni, ali to stoji, da se danas na taj obret vežu velike nade i da se danas radioaktivne tvari na čitavom svijetu ispituju gotovo nervoznim nemirom.





XII.

Električni valovi.

Hertzovo otkriće električnih valova u eteru. — Što je električna iskra Leydenske boce. — Električno titranje. — Righijev oscilator. — Električna resonancija. — Branlyjev koheher. — Marconijev telegraf bez žica. — Teslini pokusi.

Jedva je prošlo pô stoljeća, što su se po našem planetu razapele prve žice za električni telegraf: godine 1843. predana je prometu prva telegrafska linija po sustavu Morseovu izmedju Washingtona i Baltimora. Još je dosta ljudi na životu, koji su kao mladići gledali na svoje oči prvo uredjivanje telegrafskih linija u Americi i Evropi i čudom se čudili tomu najnovijemu obretu fizičara. A nije bila ni šala: nepomična je i na oko mrtva pred njima bila žica; no kako bi joj čovjek na jednom kraju predao neke znakove, oživjele bi sprave namještene na drugom kraju žice i te bi sprave vjerno ponavljale sve znakove predane žici! Brzinom se strijele prenose ti znaci po žici dugačkoj tisuće kilometara i jedva si trenuo okom, a znaci su već na drugoj štaciji. Tad je prvi put u šire vrste obrazovane publike došao neki pojam o tajinstvenom djelovanju električnih sila, koje se brzo kao strijela šire pomoću žica: danas već svako dijete zna nešto o „električnim strujama“ u žicama, o njihovim zakonima i prevažnim učincima, i ako još nitko na Zemlji ne zna, što je za pravo ta elektriciteta. No ako i ima vidoka prvih telegrafskih linija još na životu, oni za stalno nijesu ni u snu tada mogli slutiti, što je taj izum ljudima vrijedio, i koliku će revoluciju izvesti u njihovim kulturnim i materijalnim prilikama. To

najbolje kazuje broj, da su koncem godine 1896. imale same evropske države oko 600.000 kilometara telegrafskih linija i da se ta mreža još sveudilj uvećava!

Početkom godine 1902. pronio je telegraf po zemaljskoj kugli senzacionalnu vijest, da je mladi talijanski inžinir Marconi poslao iz Poldhua u Englezkoj preko atlantskoga oceana u New-Foundland prvi telegram bez žica, — dakle je 5000 kilometara daleko telegrafovao bez žica! Sve ako uzmemo u račun, da je on samo jedno jedino slovo „*S*“ mogao prenijeti preko oceana, pa je s vrlo uvaženih stručnih strana izneseno mišljenje, da ti znaci slova *S* možda nijesu došli s druge strane oceana, stojimo ipak pred pokusom, koji u nama budi velik interes i velike nade za budućnost; mi smo svi vidoci postajanju i razvijanju novoga obreta fizike, koji bi mogao izvesti još veću mirnu revoluciju u čovjekovu koljenu od predjašnjega telegrafa: tä za Marconijev telegraf zemaljskih je daljina gotovo nestalo! Sudim po tom, da ne ću dosadjivati čitaocima, ako pokušam, da ih u ovom članku upoznam s osnovama ovoga izuma, za koji su neki već rekli, da je najvažniji izum dvadesetoga vijeka i da će tomu vijeku dati svoj žig.

Eter je ocean, koji zaslužuje ime svjetskoga oceana u mnogo većoj mjeri, nego naše vode na Zemlji. Nevidljiv je doduše taj ocean, ali sastavlja u pravom smislu riječi različne svjetove svemira, koji nisu drugo nego maleni otoci u njem; u tom svjetskom moru živimo, a valovi njegovi sveudilj pljuskaju o sve svjetove svemira. Nije li već unaprijed opravdano mišljenje, da se i u tom beskrajnom oceanu mogu uz sićušne valove svjetlosti, koje prepoznajemo našim okom, javljati i sasma drukčiji valovi, dugački nekoliko metara i kilometara? To bi se očito dogodilo, kad bismo mi znali čestice etera drukčije uzdrmati, nego što to čini priroda u izvorima svjetlosti. Kad bi na pr. negdje čestice etera od tih naših udaraca u sekundi zatitrale ne 500 bilijuna puta, nego na pr. samo 20 milijuna puta, naravno je, da bi ti valovi bili dugački nekoliko metara i kilometara, no jasno je i to, da naše oko, udešeno od prirode samo za one sitne valiće svjetlosti, ne će biti osjetljivo na one velike valove etera; za njih bismo trebali drugo oko, ali toga nam priroda na žalost nije dala, pa zato razumijemo, da su fizičari tek okolišanjem mogli doznati, da u eteru zaista ima i takih dugačkih valova. Znalo se doduše već i prije, da u eteru ima valova, koji su predugački ili prekratki, da bi djelovali na oko, ali su prvi djelovali na osjetljive

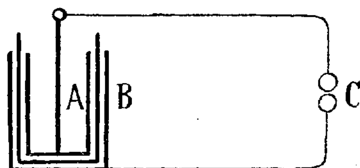
termometre, a drugi na fotografijsku ploču, i tijem su ih i otkrili; no i njihova je dužina još uvijek neizmjerno malena. Tek su u posljednjem deceniju devetnaestoga vijeka fizičari našli način, kako se u eteru mogu buditi i valovi dugački na metre i kilometre, i što je još važnije, našli su i osjetljivo umjetno oko, na koje ti valovi djeluju, pa nam se tijem odavaju. Bez toga umjetnoga oka mi ih ne bismo mogli osjetiti, baš kao što za slijepca ne postoje valovi svjetlosti, premda se bez prestanka šire po oceanu etera od svakoga izvora svjetlosti. Zasluga je njemačkoga fizičara Hertza, koji je žalibože mlad legao u grob, da nam je te valove otkrio, a nauka ih po njem i zove „Hertzovi valovi.“ Neposredna je pak primjena tih valova u početku spomenuti telegraf Marconijev, s toga će nam biti prva zadaća, da se iz bližega upoznamo s tim Hertzovim valovima.

Po predjašnjem je razlaganju jasno: ako hoćemo, da se u vodi, uzduhu, eteru pojave valovi, treba da negdje u njima zatitraju čestice s bilo kojega uzroka. U vodu bacismo kamen, od njegova udarca zatitraše čestice vode i mi vidjesmo na njoj lijepe krugove valova, kako se šire jedan iza drugoga po vodi u jednakom razmaku. Fronte su tih valova svagda pravilni krugovi, a polumjeri tih krugova su „zrake vala“, koje sve izlaze iz središta i pokazuju smjerove, u kojima se valovi šire iz svoga ishodišta. Udarismo batom o zvonce; molekuli zvonca zatitraše živo i velikom brzinom, a ti se titraji prenesoše na čestice uzduha oko zvonca; i ove zatitraše, a u uzduhu idu od ishodišta zvuka opet na sve strane nevidljivi valovi, samo im fronte sada nisu krugovi nego kugle, kojima je zajedničko središte izvor zvuka — zvonce. Udare li ti zvučni valovi u uzduhu negdje o zdravo uho, osjetit će uho nekaki glas ili ton. Kad zapališ napokon žigicu u tamnoj sobi, zatitraše čestice etera u šupljinama goruće žigice još kud i kamo življe i brže od molekula i atoma u zvoncu, a u eteru oko žigice opet teku u sobi na sve strane nevidljivi valovi, kojima su fronte takodjer kugle sa zajedničkim središtem na onom mjestu, gdje gori žigica: obično velimo, da od žigice izbijaju „zrake svjetlosti“ na sve strane u pravcima. Gdjegod fronte tih valova udare na organ, koji je tako udešen, da ih može primati, a to je zdravo oko, osjetit ćemo svjetlost. Uho je na te sitne valove etera posvema neosjetljivo. Kratkoća je tih valova svjetlosti (nekoliko desettisućina jednoga milimetra!) i brzina, kojom se u eteru rasprostiru (300.000 kilometara u svakoj sekundi!)

gotovo nedohvatna običnom ljudskom razumu, pa se čovjek zaista mora čuditi domišljatosti tih fizičara, koji su znali naći metode, po kojima ćeš točno izmjeriti na jednoj strani tako sitne, a na drugoj tako ogromne dužine.

Do g. 1888. znalo se za izvjesno, da se u beskrajnom oceanu etera, koji sastavlja medju sobom sve svjetove svemira, šire samo oni kratki valovi svjetlosti, koji sobom nose i toplinu. Te su godine izišla znamenita istraživanja tada bonnskoga profesora Heinricha Hertza (1857.—1894.), u kojima je pokusima pokazao, da mi zaista možemo u tom eteru buditi valova sasma drukčije dužine, nego što to čini priroda sama u svjetlosti. Pokazao je naime Hertz, da se ocean etera može uzljuljati ne samo od svjetlosti i topline, nego i od elektricitete, pa kako smo do tada govorili o valovima i zrakama svjetlosti i topline u oceanu etera, tako govorimo od godine 1888. i o „električnim valovima i zrakama" u eteru oko nas.

Svi dobro poznamo sa školskih klupa Leydensku bocu (sl. 224.), jer smo bar jedanput osjetili njezin snažni električni udarac, kad smo izvanji oklop stanijola uzeli u lijevu ruku, a zgležanj prsta na desnoj ruci dosta primaknuli kuglici unutrašnjega oklopa. Planula bi mala ali svijetla „električna iskra", a tijelo bi se živo trglo. Boca se izpraznila; da ponoviš pokus, treba ponovno nabiti bocu unutra na pr. pozitivnom, a na izvanjem oklopu negativnom elektricitetom: što je boca jače nabita, to su jače i glasnije iskre, ali to su žešći i trzaji našega tijela. Pred nama je taka Leydenska boca, nabita na unutrašnjem oklopu *A* pozitivnom, a na izvanjem *B* negativnom elektricitetom; od svakoga oklopa ide po jedna žica, koja se završuje kovnom kuglicom kod *C*. Ako je boca dosta jako nabita, preskočit će kod *C* s jedne kuglice na drugu „električna iskra" i boca će ostati ispražnjena. Obično se kaže, da pozitivna elektriciteta prijedje iz unutrašnjega oklopa *A* k izvanjemu *B*, pa se jednake množine suprotnih elektriciteta spojiše. Malo su po malo fizičari došli do spoznaje, da to baš ne ide tako jednostavno, kako mi to vidimo. Ono za pravo nije jedna iskra, nego cio niz iskara, koji dolazi od toga, što se elektricitete ne izjednačuju u jedan mah, nego

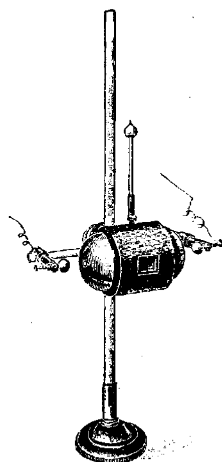


Sl. 224. Leydenska boca.

titraju jedno vrijeme tamo i amo izmedju oba oklopa. Jedan će nam primjer to razjasniti. U spojenim je sudovima voda i stoji u oba suda jednako visoko; potisnemo li je u jednom dolje, stajat će u drugom više; kako popusti tlak, izjednačit će se s mjesta visine vode, ali to se izjednačivanje ne zbiva glatko: voda se njiše nekoliko puta tamo i amo oko srednje visine, dok se napokon ne smiri. Nešto je sličnoga kod ispražnjivanja Leydenske boce: pozitivna elektriciteta ne prijedje jednostavno k negativnoj, nego se zaleti na čas na izvanji oklop, opet se vraća na unutrašnji itd., t. j. i elektriciteta se neko vrijeme njiše izmedju oba oklopa tamo i amo; što mi vidimo kao jednu iskru, to fizikalna analiza pokazuje, da je cio niz električnih ispražnjivanja i iskara, koje se poradi velike brzine, kojom se zbivaju, stapaju za naše oko u jednu jedinu iskru. U električnoj iskri Leydenske boce vidimo dakle titranje ili njihanje elektricitete tamo i amo, a to je, kako znamo, prvi uvjet postajanju valova u okolišnom eteru. Malo su se po malo fizičari uvjerili, da se kod svake električne iskre javljaju taki titraji elektricitete, a od njih se rasprostiru onda valovi kroz eter. Svaka taka iskra potiče eter oko sebe na titranje, baš kao žigica, zapaljena u tamnoj sobi. No dok žigica daje povod valovima, kod kojih se čestice etera zanjišu u svakoj sekundi stotine bilijuna puta, električni su njihaji u iskri mnogo sporiji: dolazi ih prema prilikama samo nekoliko milijuna na sekundu. I to je doduše lijep broj, no ipak mnogo manji od predjašnjega, a posljedica je tomu, da će i valovi, koji se od tih sporijih titraja šire u eteru, biti kud i kamo duži od valova svjetlosti. Dok su valovi svjetlosti dugački tek nekoliko desettisućina jednoga milimetra, valovi će od takih električnih iskara doseći dužine od nekoliko metara. No s tako dugačkim valovima teško je raditi u ograničenim prostorijama naših laboratorija. Ne bi li nam električne iskre mogle dati valova u eteru dugačkih tek nekoliko centimetara? I ti su još jako veliki spram valova svjetlosti, no s njima bismo mogli eksperimentovati, mogli bismo ih u našim sobama pratiti i ravnati, kuda treba.

Analogija nas zvuka upućuje, kako da dodjemo do toga. Mi trebamo kraćih električnih valova, a to će reći, mi trebamo bržih električnih titraja, nego što ih daje obična električna iskra. Kod zvuka znamo, da glas zavisi o masi, koja je u izvoru zvuka zatitrala. Što veća masa titra, to je niži glas t. j. to je manji broj titraja u svakoj sekundi i obrnuto, što se manje mase u izvoru zvuka uzljuljalo, to su brži titraji, to je viši glas. Veliko zvono daje dubok,

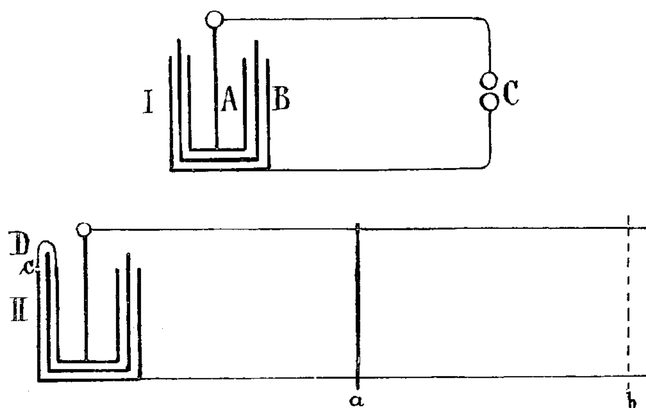
malo visok glas. Velika svirala daje dubok, a mala visok ton: dugačka žica na glasoviru daje spore, a kratka brze titraje. Po toj su analogiji postupali fizičari i u ovoj prilici: nastojali su električne iskre tako udesiti, da od njih zatitra razmjerno malena množina etera. To se može lijepo postići ovim načinom, što ga je prvi predložio talijanski fizičar Righi (sl. 225.). Na stalku su dvije oveće mjedene kugle, utaknute do polovine u ormarić od tvrda kaučuka. U unutrašnjosti su razmaknute najviše za 1 cm, a ormarić se odozgo napuni kroz cijevčicu petrolejem. Nedaleko od njih namještene su još dvije manje kuglice, koje se pomoću žica sastavljaju sa strojem, koji daje elektricitetu (Holtzova električna mašina ili Ruhmkorffov induktorij).* Iz tih manjih kuglica prelazi elektriciteta u obliku cijeloga niza slabih iskara na veće kugle. Poradi ulja izmedju njih preskakuju medju njima iskre tek onda, kad je elektriciteta na velikim kuglama postigla dosta visok stupanj napetosti. Te su iskre u petroleju povod električnim titrajima, koji su za naše svrhe najzgodniji: oni su na ime ograničeni samo na obje velike kugle, i na njih ne utječu žice sastavnice, koje s njima nijesu ni sastavljene. Tomu aparatu dajemo ime „Righijev oscilator“.


Sl. 225. Righijev oscilator.

Pitanje je sada, da li se zbilja od ovakve električne iskre rasprostiru kakvi nevidjivi valovi po eteru? Ovo je pitanje jamačno svakomu na misli i on pravom traži tomu dokaza. Za valove nam je zvuka dala priroda poseban organ — uho, za presitne valove svjetlosti opet drugi organ — oko. S njihovom pomoću svaki nas s mjesta osjeti nevidljive valove zvuka i svjetlosti. No kako je uho od prirode udešeno samo za osjet zvučnih valova u uzduhu, a oko samo za presitne valiće svjetlosti, koji se šire po eteru, razumijemo, da nam oko ne će moći odavati, da postoje u eteru i valovi, koji potječu od električnih njihaja u Righijevu oscilatoru; priroda nam u opće nije dala posebnoga organa, da bismo njegovom pomoću mogli osjetiti eksistenciju tih valova. Poradi toga se utječemo opet jednoj analogiji kod zvuka. Ako namjestimo dvije akustične vilice udešene na isti ton,

* Isporedi: Kučera, „Crte o magnetizmu i elektricitetu“; strana 88. i d., pa strana 180.

u daljini od 1 metra, pa u jednoj od njih izvedemo ton, pokazat će se, da će i druga sama od sebe zazvečiti; valovi u uzduhu, koji idu od prve vilice po uzduhu, potaknuli su i drugu vilicu na titranje, a to nam se titranje odaje kao ton (isp. str. 123.). U tom pojavu „suzvučenja“ vidimo dokaz, da po uzduhu zaista idu nevidljivi valovi zvuka: taj bi dokaz vrijedio i u slučaju, da smo gluhi. Osjetom bi prstiju mogli u tom slučaju konstatovati titranje jedne i druge vilice. Treba još napose istaknuti, da se ta pojava suzvučenja pokazuje samo u slučaju, da su obje vilice udešene na isti ton; kako je ton u druge vilice samo malo viši, ili niži, suzvučenja nema. Prenesimo ovo iskustvo na naš slučaj električnih njihaja. Kod svake se električne iskre Leydenske boce javljaju električni titraji, dakle i obrnuto smi-



Sl. 226. Lodgeov pokus.

jemo reći: ako opazimo negdje bilo kako slabu, ili bilo kako jaku električnu iskru, smijemo uzeti, da se u tijelu, koje daje te iskre, zbivaju električni njihaji. Na ovom je principu osnovao engleski fizik Oliver Lodge veoma zanimljiv pokus, da dokaže, kako i od električne iskre zaista idu valovi po eteru. Prije spomenutu Leydensku bocu I. (slika 226.) namjestio je na stolu i sastavio sa strojem, koji ju sveudilj nabija elektricitetom; kod *C* poradi toga preskakuju električne iskre, dakle se u boci zbivaju električni njihaji. Jedan metar daleko od nje namjestio je sasma jednaku Leydensku bocu II i sastavio oba oklopa žicama i pomičnom prijećkom *a*. Pomicanjem te prijećke mogao je stvar tako udesiti, da budu i dužine žica kod obje boce sasma jednake (u slici kod *a*). Na drugoj boci II ide od unu-

trašnjega oklopa vrvca stanijola D preko ruba stakla gotovo do izvanjega oklopa. Ako se sada u drugoj boci bilo s kojega uzroka jave električni njihaji, odavat će se malim iskricama kod c. Kad je Lodge prvu bocu sastavio s vrelom elektricitete, pa u njoj pobudio električne titraje, zaista je opazio, da i u drugoj boci kod c preskakuju male iskrice: u drugoj su se boci sami od sebe javili električni titraji. No kako je priječku a pomaknuo na drugo mjesto (na pr. b), iskricâ je nestalo, jer obje boce sada ne bijahu sasvim jednake. Otkud električne iskrice u drugoj boci, koje nije nitko nabio? Očito su električni njihaji prve boce potaknuli eter oko nje na valovito gibanje; ti su valovi etera udarali o drugu Leydensku bocu, udešenu na iste titraje, pa su i u njoj pobudili električne titraje, koji nam se odadoše u onim iskricama kod c. Nema dakle sumnje nakon ovoga pokusa Lodgeova, da se u eteru rasprostiru električni valovi, pa treba samo konstruirati umjetno oko, koje nam odaje te valove, kad nas već priroda nije htjela da obdari posebnim organom za njihov osjet.

Takvo je umjetno oko u Lodgeovu pokusu druga Leydenska boca II sa svojim malim iskricama. I Hertz je kod svojih glasovitih istraživanja o rasprostiranju električnih valova upotrebljavao slično umjetno oko, samo su kod njegova oka, komu je dao ime „resonator“ te iskrice preskakivale izmedju dvije kuglice. Kadgod bi on taj svoj resonator namjestio u put zgodnim električnim valovima, koji idu kroz eter, budila bi se u njem neka vrsta električnoga suzvučenja, koje se odavalo preskakivanjem iskrica na rastavljenim kuglicama. No iskrice su bile veoma slabe i to slabije, što je resonator dalje bio od oscilatora; kod nešto većih su daljina iskrice gotovo iščezavale. S jednostavnim ovim umjetnim okom istraživao je Hertz električne valove, koji su se u eteru rasprostirali od električnih iskara, što su preskakivale izmedju dvije kugle oscilatora sličnoga Righijevu. U jednom je posebnom slučaju bio broj titraja na pr. 1000 milijuna u sekundi, dakle je dužina valova bila 30 cm, budući da se i električni valovi rasprostiru u eteru istom brzinom kao i valovi svjetlosti, t. j. brzinom od 300.000 kilometara u sekundi (300.000 km : 1.000,000.000 = 30 cm).

Nije ovdje mjesto, da opisujemo krasne pokuse Hertzove. Čitatelje zanimat će tek njihovi rezultati. Najznamenitiji je svakako pokus, kojim je pokazao, da se i električni valovi odbijaju od kovne ploče baš po istom zakonu, kao i valovi svjetlosti od zrcala. To je nedvojben dokaz, da su to zaista valovi. Odbijeni se električni valovi

sastajahu s valovima, koji idjahu k ploči i tako se ukrštavanjem složiše u nove sastavljene valove (isp. sliku 179.), kojima je Hertz mogao da izmjeri dužinu, a računom je onda dalje našao, da se električni valovi u eteru rasprostiru baš točno istom brzinom, kao i valovi svjetlosti. Električni se valovi i lome, kao i valovi svjetlosti, kad prolaze kroz prozračno tijelo, na pr. kroz staklenu prizmu. Samo za električne valove treba uzeti prizme od crnoga neprozračna kaučuka (ebonita), ili od parafina: što propušta valove svjetlosti, ne mora da propušta električne valove, i obrnuto. Ebonit su i parafin neprozračni za zrake svjetlosti, ali propuštaju električne valove.

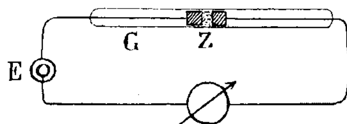
U jednu riječ: Hertzovi su pokusi nedvoumno utvrdili, da ima i električnih valova, koji se u eteru rasprostiru brzinom svjetlosti, ali se od valova svjetlosti razlikuju nerazmjerno većom dužinom i mnogo manjim brojem titraja u sekundi. Nije li na dlanu zaključak, da su svjetlost i elektriciteta pojave iste vrste, koje se razlikuju tek u omjeru veličine? Najosjetljivi instrument za zrake svjetlosti je oko; za električne zrake i valove nemamo takova organa, no Hertz ga je načinio u svom resonatoru. Po analogiji bi ga mogli zvati „električno oko“ (Slaby).

No električno je oko Hertzovo bilo još slabo i kratkovidno: samo osobito jake učinke električnih valova odavalo je svojim slabim skricama. Danas ima nauka cio niz drugih električnih očiju, koje su kud i kamo osjetljivije za električne valove, pa njihovom pomoću možemo i mjeriti jakosti učinaka.

Najzgodnije je i najosjetljivije električno oko danas tako zvani „Branlyjev koherer“. Izum ovoga oka podloga je senzacionalnoj primjeni električnih valova za telegrafovanje bez žica. Red je sada, da čitatelja upoznamo s tim najosjetljivim okom za električne valove.

Dvije su tek godine dana bile prošle, što je svijet saznao za znamenita istraživanja Hertzova o rasprostiranju električnih valova u eteru, i već je Branly otkrio drugo električno oko, kud i kamo osjetljivije na elekrične valove, koji idu nevidjeni i nečujni kroz eter u uzduhu, ili u bilo kojem drugom tijelu. Branlyjev „koherer“ još je danas najzgodnije i najosjetljivije naše električno oko, pa ga je i Marconi upotrebio, da telegrafuje bez žica. Koherer za pravo nije drugo nego umno popravljen resonator Hertzov ili Lodgeov (sl. 226. B). Karakteristika je tih istrumenata bila, da je metaličan krug na jednom mjestu prekinut kratkom vrstom uzduha (kod C u

slici 226.). Djelovanje se električnih valova, koji dodjoše iz daljine, odaje tijem, da se na tom mjestu javiše slabe iskrice, kad udarahu električni valovi o taj krug. Da osjetimo električne valove, pozvali smo dakle u pomoć naše oko, t. j. kako bismo osjetili električne valove koji kao zrake izbijaju na sve strane iz Righijeva oscilatora, mi smo ih pretvorili u valove svjetlosti, za koje nam je priroda dala vanredno osjetljiv instrumenat u mrežnici oka: električne smo zrake pretvorili u zrake svjetlosti. No ako su te iskrice neizmjerno malene, oko ih ne vidi, premda postoje. Treba dakle, da eksistenciju tih neizmjerno malih iskrica drugim načinom prepoznamo, a baš je to otkrio Branly. Upotrebio je u tu svrhu svoje otkriće osobite jedne pojave, što ju pokazuje piljotina željeza, bakra ili mjedi, naslagana u staklenoj cijevi, kad se kroz nju pošalje električna struja kakova galvanskoga elementa. Za razjašnjenje neka služi slika 227. U staklenu cijev G široku jedva 2 mm utaknuta su dva srebrna čepa, od kojih izlaze žice iz cijevi. Srebrni su čepovi razdaleko tek 1 ili 1·5 milimetra, a medju njima je kod Z kovne piljotine. (Marconi je nakon mnogih pokusa odabrao kovni prašak, u kojem ima 96% tvrdoga nikalja i 4% srebra: dobiva se turpijanjem čistim i suhim turpijama.) Iz cijevi je isisan sav uzduh, a žice su utaljene u staklo. Ta je cijev glasoviti „koherer" Branlyjev. Ako se žice koherera sastave s kakvim galvanskim elementom E, koji daje stalnu električnu struju i u tečaj te struje još uplete osjetljiva magnetska igla (u slici 227. označena je ta igla strjelicom u krugu), pokazivat će nam ta magnetska igla (galvanometar) svojim otklonom, da struja u ovom krugu teče, pa bila ta struja makar kako slaba. Nema li struje, igla će stajati na miru neotklonjena. Branly je opazio, da struja elemenata E ne će da teče kroz koherer, jer joj piljotina kod Z nije dosta dobar most za prelaženje s jedne srebrne ploče na drugu: struja je elementa kod Z prekinuta i igla je galvanometra na miru. Uzroku se lako domisliti. Zrnca su piljotine doduše jedno uz drugo, ali izmedju njih su ipak neizmjerno tanke vrste uzduha, dosta jake, da ne dadu struji kroz piljotinu. No kako na koherer udare električni valovi s bilo koje strane, zatitra i u njem po načelu suzvučenja elektriciteta i u kohereru se



Sl. 227. Branlyjev koheher.

javljaju električni valovi; za njih tanke vrste uzduha izmedju pojedinih zrnaca piljotine nisu više nikakva zapreka, jer zanjihani štrcaju poput vodenoga vala u milijardama najsitnijih drobnica preko zapreke. Ovdje elektriciteta štrca u obliku finih iskrica s jednog zrnca na drugo i premda nema oka, koje bi ih primijetilo, one ipak preskaču s jednog zrnca na drugo i ispunjuju prostor izmedju njih kovnim parama, preko kojih sada struja elementa *E* može da teče, a igla na galvanometru to s mjesta pokazuje svojim otklonom. Kad je električni val prešao preko koherera, može se dogoditi dvoje: ili se igla sama vrati u svoj predjašnji položaj i pokazuje tijem, da se opet sâma načinila tanka vrsta uzduha izmedju zrnaca, koja struju elementa ponovno prekida, ili pak sitne metaličke drobnice, koje su postale ohladjivanjem metaličnih para, sjednu medju zrnca piljotine, pa tako načine metaličan most, po kojem struja može i dalje da teče kroz piljotinu: igla galvanometra ostaje i dalje otklonjena. U prvom je slučaju koherer spreman, da se ponovno odazivlje na električne valove, koji bi odnekle došli do njega, u drugom pak slučaju — a taj se redovno javlja — nije spreman, da nam otklonom igle javi dolaženje novih valova. No kako je krhak čas prije spomenuti most za prelaženje struje! Najslabiji udarac na cijev koherera smjesta će ga porušiti, struja će se prekinuti i igla vratiti u svoj predjašnji položaj. Lodge je bio prvi, koji je ovakvo umjetno električno oko upotrebio za hvatanje i proučavanje Hertzovih električnih valova: on mu je i dao ime „koherer“, koje je izveo od engleske riječi „cohere“ (izg. kohir), a ta znači „svezan biti, držati se jedan drugoga“ (lat. cohaereo, cohaesio), jer električni val zaista u neku ruku sveže medju sobom čestice piljotine slabim metaličkim mostom.

Kad dodje električan val iz Righijeva oscilatora na koherer, ovaj propušta struju elementa i magnetska igla galvanometra pokazuje otklon. Kako val prodje, most se ili sam poruši, ili ga treba porušiti slabim treskanjem koherera; igla se vraća s mjesta u svoj obični položaj i koherer je spreman, da prima i otklonom igle dojavljuje nove valove. Koherer je dakle najvažniji dio svakoga aparata za telegrafovanje bez žica. Ne udara li čitaocu u oči, kako je jednostavno to naše najosjetljivije umjetno električno oko? Nekoliko zrnaca piljotine naslaganih u staklenoj cijevi — to je sve! Pa ipak je to fundamenat, na kojem se pred našim očima naglo gradi novo krilo na ponosnoj palači današnje elektrotehnike. Nije to prvi taki primjer. Što je na pr. osnova modernoj telefoniji? Hughesov „mi-

krofon", t. j. nekoliko komadića ugljena, koji se slabo drže jedan drugoga!

Na opisanom nam se kohereru javlja dolazak vala otklonom magnetske igle, dakle opet moramo upotrebiti oko, da primijetimo električni val. Ne bi li se mogli poslužiti drugim osjetilom za tu istu svrhu? Ništa nije lakše nego to! Umjesto magnetske igle galvanometra uklopimo u slici 227. u tečaj struje obično električno zvonce. Dok nema električnih valova, struja je elementa E prekinuta i zvonce šuti. Kako dodje električni val na koherer, struja teče kroza nj i zvonce zvoni. Kod ovoga rasporeda nam dakle uho javlja dolaženje električnih valova na koherer. Batić se zvonca pače može odmah upotrebiti, da on sam strese cijev koherera, pa da tim odmah poruši most i zrnca piljotine opet rastavi; zvonce će smjesta umuknuti, a koherer je spreman, da primi nov val.

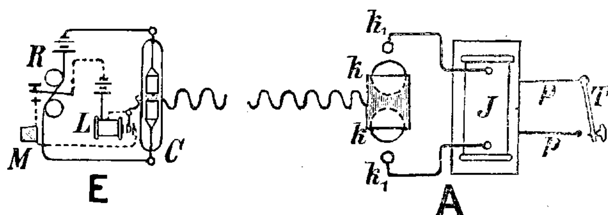
No mi možemo sada lako i u pismu Morseova telegrafa zabilježiti i trajno fiksirati električne valove, koji udaraju o koherer. Mjesto zvonca uklopit ćemo u tečaj obični relais (čit.: „rele") Morseova telegrafa.* To je prenosilac struje, sastavljen od elektromagneta i kovnoga jezičca nad njim. On je tako osjetljivo gradjen, da mu se jezičac giba već od najslabije struje, koja teče kroz elektromagnet. No jezičac se relaisa može dalje poznatim načinom uklopiti u tečaj druge jake baterije („lokalne baterije"), koja svoju struju šalje u poznati Morseov pisar i na vrvci papira oštro bilježi znakove Morseova alfabeta, sastavljene od dužih i kraćih pravaca.

Izlazi dakle, da je konstrukcijom koherera pitanje o telegrafovanju bez žica u principu riješeno, i zaista možemo pomoću ovih jednostavnih sredstava od jednoga kraja velike dvorane do drugoga kroz uzduh telegrafovati, ili pak iz jedne sobe u drugu kroza zid. Namještaj i raspored aparatà pokazuje slika 228., koja će sada biti čitaocu jasna. Na postaji A, koja će poslati telegram, stoji prije svega Righijev oscilator k, k k^1 k^1. Kuglice k^1 sastavljene su s induktorom I, iz kojega preskakuju iskre u oscilator, čim netko rukom pritisne ključ T, ali preskakuju samo tako dugo, dok je ključ T pritisnut o žicu p. Oscilator je sada ishodište električnih valova, koji se šire po sobi na sve strane. Kako se ključ ispusti, prestaje induktor raditi, iskre u oscilatoru ne preskakuju i od njega se ne rasprostiru više nikakvi valovi u eter. Svi, koji smo u toj

* Isporedi: Kučera, Crte o magnetizmu i elektriciteti, strana 263.

sobi, stojimo u tim valovima, oni udaraju o nas i prolaze kroz nas, no mi toga ne osjećamo, jer naše tijelo nije tako gradjeno, da bi se u njem budili električni titraji suzvučenjem. Da su nam uda od kovine, jamačno bi bilo drukčije.

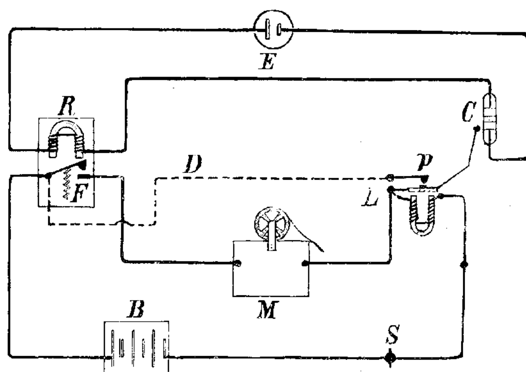
Na drugom je kraju sobe postaja *E*, koja će primiti telegram bez žica. Tamo stoje aparati za primanje depeše. Tu vidimo u prvom redu koherer *C*. Krajevi su njegovi sastavljeni žicama s polovima galvanijskoga elementa kod *R*, ali je u tečaj te struje uklopljen relais *R*, kojemu je jezičac prislonjen o gornji šiljak. Tečaj je ove struje označen izvučenom debljom crtom. Zvat ćemo je glavnom strujom. Ta je struja sada u kohereru prekinuta i sve je u postaji *E* na miru. No kako iz postaje *A* podju električni valovi (označeni u slici valovitom crtom), koji udaraju o koherer, promijenit će se sasvim slika na toj postaji. U piljotini se koherera načini most za glavnu struju, ona sada teče kroz relais *R*, njegov se jezičac spusti na donji šiljak



Sl. 228. Telegrafovanje bez žica.

i ostaje tamo, dok se ne sruši most u kohereru. No tim se skokom jezičca zatvori druga struja jake lokalne baterije (u slici je njezin tečaj označen punktiranom crtom): neka se zove „sporedna struja." U nju je uklopljen običan Morseov pisar *M* i električan batić *L*, koji slabo udara na koherer, da ga podrma i most u piljotini sruši. Pisar *M* i batić *L* rade samo tako dugo, dok kroz njih teče sporedna struja. Prvi udarac batića o koherer srušit će slabi most glavne struje i jezičac relaisa vratit će se u svoj predjašnji položaj na gornji šiljak, no tijem će se i sporedna struja prekinuti: pisar i batić miruju. Svaki će ponovni val ovu igru aparata na postaji *E* obnoviti. Jasno je, da pomoću električnih valova možemo od *A* prenositi na Morseov pisar *M* u drugoj postaji sve znakove alfabeta prema tomu, da li je ključ *T* kraće ili duže vrijeme pritisnut o žicu *p*, t. j. prema tomu, udaraju li električni valovi kraće ili duže vrijeme na koherer.

Pokazalo se kod ovih pokusa, da iskrica, koja se javlja, kad jezičac relaisa skoči gore, takodjer djeluje na koherer, pa da i ona šalje na nj slabe električne valove, koji pobrkaju pravilnu i točnu radnju koherera. Tu iskricu treba ukloniti; to se može postići različnim načinom. Slika 229. pokazuje zgodan raspored aparata na postaji, koja prima depešu, kod kojega nema tih iskrica. Koherer *C* zatvori struju elementa *E* i elektromagnet relaisa *R* privuče jezičac gore. Tim se prekine sporedna struja lokalne baterije *B*, koja je do sada tekla kroz pisar *M* i batić *L*. Ovi su pak aparati tako udešeni, da rade baš onda, kad je sporedna struja prekinuta. Kad se most u kohereru poruši, pane jezičac relaisa dolje, sporedna se struja opet zatvori, a pisar *M* i batić *L* prestanu raditi. Tu je dakle upo-

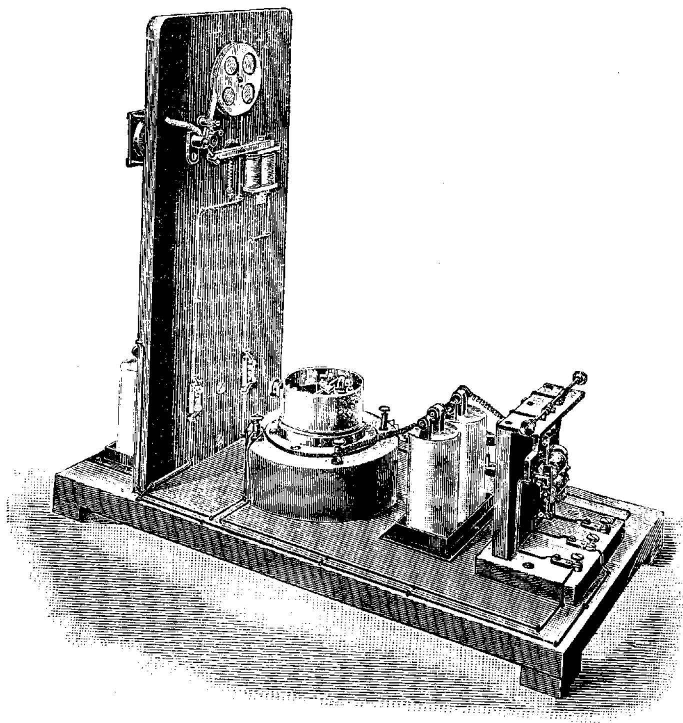


Sl. 229. Postaja za telegrafovanje bez žica mirnom strujom.

trebljen u telegrafiji poznati princip t. zv. „mirne struje." — Slika 230. napokon pokazuje cijelu postaju za primanje depeša, kako ju je izveo mehanik Ernecke u Berlinu baš za pokuse o Marconijevu telegrafu u sobama. Na desnoj se strani vidi električni batić, a iznad njega je koherer. Dalje na lijevo stoji baterija glavne struje (2 elementa), koja pripada kohereru i teče kroz relais, namješten u okrugloj škatuljici još više na lijevo. Na vertikalnoj je daski namješten model poznatoga Morseova pisara, a iza daske proviruje lokalna baterija, koja tjera pisar i batić. Pokusi s ovim aparatom spadaju medju najljepše fizikalne pokuse: čudno se naime dojima svakoga, kad na svoje oči gleda, kako nevidljivi električni valovi bez ikakve zapreke prolaze kroz debele zidove soba, pa tamo na Morseovu pisaru bilježe slova telegrafskoga alfabeta.

*

Kad se je u proljeću g. 1897. saznalo, da Marconi na ovoj osnovi telegrafuje bez žica, da je pače odmah kod svojih prvih pokusa mogao nekoliko kilometara daleko poslati telegrame kroz uzduh, neobično je gibanje zahvatilo obrazovani svijet, no u stručnoj se literaturi, navlastito engleskoj, ipak isticalo, da Marconi za pravo nije otkrio ništa novoga. Tâ električne je valove Hertz već g. 1888. znao izvoditi pomoću električnih iskara; on je već imao i umjetno



Sl. 230. Postaja za primanje depeša po sustavu Marconijevu.

električno oko, svoj resonator, i njim je pokazao, da se ti valovi doista rasprostiru kroz uzduh, pače i kroz mnoga druga čvrsta tjelesa, koja su neprozračna za kratke valove svjetlosti.

Osjetljivije je električno oko već g. 1890. izumio Branly u svom kohereru, a i Lodge opisuje u svojoj veoma lijepo pisanoj knjizi „The Work of Hertz and some of his succesors“ ovo električno oko i druga njemu slična oka, koja je on već godine 1889. upotrebljavao kod studija Hertzovih električnih valova. Lodge

je jamačno i otac misli, da će se moći pomoću električnih valova i koherera telegrafovati bez žica, ali ne dalje od pô engleske milje (= 800 metara). Pod dojmom Hertzovih i Lodgeovih istraživanja napisao je pače već god. 1892. u časopisu „Fortnightly Review“ poznati istraživač katodnih zraka Sir William Crookes ove prezanimljive misli: „Ne djeluju li svagda oko nas i duži valovi etera, kojih oko već ne može da primijeti, toga do nedavno nismo ozbiljno ni ispitivali. No istraživanja nam Lodgeova u Engleskoj i Hertzova u Njemačkoj otkriše gotovo neograničenu množinu eterskih pojava ili električnih zraka, kojima su dužine valova izmedju tisuća milja i nekoliko stopa. Tu nam se otvara nov svijet, kojemu se čudimo, i za koji ćemo jedva moći uzeti, da se u njem ne krije i mogućnost prenošenja misli. Zrake svjetlosti ne idu kroz zidove, a ni kroz londonsku maglu, kako svi predobro znamo. No električni valovi, dugački 1 metar ili više, prolazit će lako kroz takve tvari, tê će tvari biti za njih „prozračne.“ Izlazi zanimljiva mogućnost telegrafije bez žica, bez stupova, bez kabela, bez svih skupocjenih primjesa. Ako uzmemo, da se može ispuniti nekoliko sasma razboritih zahtjeva, onda se ovo pitanje sasvim pomaknulo u područje mogućnosti. Mi danas možemo izvoditi valove bilo koje dužine, od nekoliko stopa dalje i možemo dobiti cio niz takvih zasebičnih valova, koji izbijaju na sve strane prostora. Ako ne kod svih, bit će bar kod nekih moguće, da se lome pomoću osobito gradjenih tjelesa, koja djeluju kao leće (optičke), pa možemo pramen takvih zraka baciti u koji god smjer; velike, lećama slične mase smole i sličnih tvari, upotrebili su u tu svrhu. Mogle bi se u daljini neke od tih zraka, ako ne sve, uhvatiti pomoću zgodnih aparata i po ugovorenim znakovima u Morseovu pismu drugomu priopćiti... Dva prijatelja, koji žive unutar granice prenošenja svojih aparata, mogli bi ih udesiti na odredjene dužine valova i pomoću dužega i kraćega izbijanja zraka medju sobom općiti u znakovima Morseova pisma. U prvi bismo mah mogli toj osnovi prigovoriti, da vijesti ne bi ostale tajne. Uzmimo, da su dva drûga razdaleko jednu milju; zrake bi, što izbijaju iz ishodišta (oscilatora) na sve strane, ispunile kuglu s polumjerom od 1 milje, i svatko, tko je unutar te daljine od oscilatora, mogao bi vijesti uhvatiti. To bi se dalo zapriječiti na dva načina. Kad bi položaj aparata, koji vijest šalje (dojavljivač), i aparata, koji ju prima (primac), bio točno odredjen, mogle bi se zrake većom ili manjom sigurnošću sastaviti u primcu.

Ako bi pak bili dojavljivač i primac pomični, pa se ne bi smio upotrebiti raspored s lećama, morala bi obojica svoje aparate udesiti na istu dužinu vala, na pr. na valove od 50 metara. Uzimam pri tom, da bi se izumili aparati, koji bi se okretanjem šarafa ili mijenjanjem dužine neke žice dali tako ravnati, da bi bili udešeni za primanje valova ugovorene dužine. Kad bi na pr. bili udešeni za 50 m, primac bi možda primao samo valove od 45 do 55 m, a za sve bi druge bio neosjetljiv. Ako se uzme na um, da raspolažemo s velikim brojem različnih dužina valova, od nekoliko stopa (danas već od nekoliko centimetara!) do tisuća milja, izlazi, da se dade izvesti tajnost vijesti; kad bi radoznao čovjek bio ma kako neumoran, ipak bi se za stalno lecnuo zadaće, da iskuša sve milijune mogućih dužina valova, kako bi napokon slučajno pogodio one, što ih upotrebljavaju drugovi, kojima je rad prisluškivati. Primjenom bi tajnih znakova mogli isključiti i ovu mogućnost. To nisu puke sanjarije. Svi su zahtjevi, da se osnova ispuni, u dohvatu mogućnosti, i to baš točno na onom putu, kojim je istraživanje udarilo u svim glavnim gradovima Evrope, pa možemo svaki dan očekivati, da ćemo čuti, kako je zadaća praktički riješena. Već se danas može telegrafovati bez žica na malu daljinu od nekoliko stotina metara, i prije nekoliko sam godina sàm prisustvovao pokusima, kod kojih su se slali telegrami s jednoga kraja kuće k drugomu, bez spojne žice točno pomoću opisanih sredstava."

Kad se pročitaju ove riječi slavnoga Engleza i isporede s onim, što je u ovom članku naprijed rečeno, čovjek se u jednu ruku čudi oštroumnosti i proročanskomu duhu učenoga muža, a u drugu je sklon zaista priznati, da Marconi nije obreo ništa nova. Pa ipak nije tako! Istina je: u svim je glavnim gradovima Evrope išlo istraživanje tim istim smjerom, svagdje su već mogli telegrafovati bez žica, ali je istina i to, da s poznatim sredstvima nisu nigdje mogli doći dalje, nego od jednoga kraja dugačkoga hodnika do drugoga (na pr. Slaby u Berlinu), dakle najdalje do nekih 50 metara!

Marconi je pak odmah u proljeću g. 1897. mogao telegrafovati bez žica nekoliko kilometara daleko, morao je dakle izumjeti još nešto novoga, i do tada poznatim dijelovima još nešto dodati, čega predšasnici nisu znali. Tako je i bilo. Potaknut predavanjima profesora Righija u sveučilištu bolonjskom, izvodio je Marconi (tek mu je bilo nešto preko dvadeset godina) na posjedu

svoga oca g. 1896. prve svoje pokuse, i u to doba pada njegov lijepi izum, koji je tek osnovao pravu telegrafiju bez žica.

Pokusi mu naime pokazaše, da se daljina, u koju se opisanim ovdje aparatima može telegrafovati, postostruči, ako se jedna kuglica oscilatora sastavi sa žicom, koja se na jarbolu uspinje visoko u uzduh, a druga opet kuglica sastavi pomoću žice s pločom u zemlji i ako se to isto načini s krajevima koherera na drugoj postaji (E, sl. 228.), koja prima depešu. Ovo je prevažno otkriće njegovo tek učinilo, da se pomoću električnih valova može telegrafovati bez žica gotovo u nedogledne daljine; ovo je otkriće Marconijevo za pravo osnovalo telegrafiju bez žica i tijem si je on uz Hertza i Lodgea stekao najveće zasluge za ovaj novi dar fizike kulturnomu čovječanstvu. Marconijev se dakle telegraf razlikuje od rasporeda pokusa, prikazanoga u našoj slici 228., tijem, što u postaji A od gornje kuglice k^1 oscilatora ide još jedna žica do jarbola namještena vani u slobodnom uzduhu, pa se uz taj jarbol uspinje vertikalno visoko u uzduh; od druge pak kuglice k^1 ide druga žica u Zemlju. To se ponavlja na postaji E kod koherera: od gornjega kraja njegova ide žica uz visok jarbol u izvanji uzduh, a od donjega vodi druga žica u Zemlju. Što je Marconi tim svojim obretom postigao? Električni se titraji oscilatora prenose i u razapetu žicu na jarbolu, i u njoj titra elektriciteta isto tako brzo, kao u iskri oscilatora: na svakoj je točki takve žice neka električna „napetost“, koja na svakom mjestu u svakoj sekundi puno milijuna puta koleba izmedju dvije skrajne vrijednosti; najjače je kolebanje napetosti na kraju žice koja strši u uzduh. Ovi se snažni električni titraji u žici prenose kao jaki valovi na eter oko nje; i ti se valovi rasprostiru u prostoru na sve strane, prolaze kroz naša tjelesa, probijaju debele zidove naših kuća i bježe sve dalje u beskonačni svemir brzinom svjetlosti od 300.000 kilometara u sekundi! Pa kad bi na pr. na Marsu koji fizičar u taj čas baš studirao te pojave s aparatima još kud i kamo osjetljivijima od našega koherera, i on bi ravno 3 minute poslije doznao, što smo mi na Zemlji radili. Je li dakle baš samo pjesnička fantazija misao našega slavnoga zemljaka Tesle o telegrafovanju na Mars? No ostanimo na Zemlji! Krepki električni valovi, koji podjoše iz visoke žice oscilatora kroz uzduh, idu stotine i tisuće kilometara daleko i još su uvijek dosta jaki, da i u visokoj žici, sastavljenoj s kohorerom, bûde snažne električne titraje, od

kojih svi aparati na toj drugoj postaji počnu raditi, kako opisasmo prije. To je tek bila prava telegrafija bez žica!

Čudnog li slučaja! Premda nema sumnje, da je Marconi svoj izum samostalno učinio g. 1896., stoji i to, da ga je u tom pretekao — Slaven. Medju mnogim fizičarima, koji su eksperimentovali kohererom, bio je jedan i Rus Popov u Petrogradu. On je prvi upleo relais u tečaj koherera i njegovom pomoću pokrenuo elekrično zvonce; batić je zvonca ujedno treskao koherer. Godine 1895. učinio je on i prvu praktičnu primjenu koherera u ovom novom rasporedu: on je pomoću koherera i zvonca registrirao udarce strijele. Jedan je kraj naime svoga koherera sastavio sa strijelnicom na kući ili s posebnom vertikalnom žicom, pričvršćenom na jarbolu, a drugi kraj sa zemljom, dakle posvema isti namještaj za primanje električnih valova kao i kod Marconija! On je pače već i to istaknuo, da se pomoću njegova aparata mogu bilježiti i znakovi, koji dolaze od dosta jaka oscilatora. Na svaki je način vrijedno zabilježiti, da i slavensku rasu ide neka zasluga kod ovoga znamenitoga otkrića.

Marconi je bio toliko vrlo sretan, što je kod vrhovnoga inžinira engleske telegrafske oblasti Preeca smjesta našao razumijevanja i potpore. Već 10. svibnja 1897. zaredaše izmedju Penartha i Flatholma u Bristolkanalu oni znameniti pokusi, koji pokazaše svijetu neobično veliku vrijednost Marconijeva izuma. Na klisuri Lavernock Point, visokoj 20 m, a dalekoj jedan sat od prijaznoga kupališta Penarth, usadiše jarbol visok 30 m, uz koji se penjala žica, koja je polazila od jednoga pola koherera; drugi je pol bio sastavljen s morem pomoću užeta od žica. Usred je kanala, 5 kilometara daleko od Lavernock Pointa, školjić Flatholm, na visokim klisurama svojim sav nadjeven topovima, a na njem je i svjetionik. U drvenoj je kućici bio namješten oscilator; jedna je njegova kuglica bila sastavljena sa žicom na jarbolu sasma jednake visine kao u Lavernock Pointu, a druga kuglica s morem. Berlinski profesor Slaby, koji je bio kod ovih pokusa, piše o tom: „Nezaboravna će mi ostati uspomena, kako smo nas petorica, poradi jaka vjetra zatvoreni u velikom drvenom sanduku, čučali jedan do drugoga pa oko i uho najvećom pažnjom upirali na aparat za primanje, te najednoč iza ugovorena znaka (zastava se digla) čuli prvo kuckanje i prve jasne znakove Morseove, prenesene ovamo nečujno i nevidljivo s one klisuraste obale, koja se tek nejasno vidjela u daljini, a po-

moću onoga nepoznatoga tajinstvenoga sredstva, etera, koji je jedini most naš k planetima svemira."

Nije svrha ovome članku, da dalje raspreda historijski razvoj ovih znamenitih pokusa. Tek nekoliko bih podataka priopćio. Još u lipnju g. 1897. uspjela je telegrafija bez žica preko čitavoga Bristol-kanala 14·5 kilometara daleko. Slaby je u Njemačkoj u listopadu 1897. telegrafovao izmedju Rangsdorfa i Schöneberga 21 kilometar daleko. Od dana gotovo do dana usavršivali su se aparati i daljine su sve više rasle. Marconi je na pr. u svibnju g. 1897. telegrafovao 5 km daleko i trebao za to 30 m visoke žice na postajama U ljetu g. 1899. telegrafovao je kod manevara engleske mornarice pomoću žica visokih 45 („antenne") m već 108 kilometara daleko, a to će reći, da je djelovanje aparata postalo 24 puta jače. Po rasporedu aparata svatko će lako primijetiti, da se ovo telegrafovanje osobito preporučuje na otvorenoj pučini morskoj od broda na brod, jer tamo već stoje visoki jarboli, a izmedju njih nema zapreka, koje bi slabile djelovanje. S istim se aparatima može po iskustvu Slabyja na moru 2 do 3 puta dalje telegrafovati nego na kopnu i on je g. 1899. dospio do 48 kilometera. Najnoviji aparati po sustavu, što ga je izradio Slaby zajedno s grofom Arcom, a izvedeni od općenoga društva za elektricitetu u Berlinu, garantuju već sasma točnu radnju na 150 kilometara pomoću jarbola visokih samo 32 metra, i taj je sistem telegrafije bez žica godine 1902. uveden u njemačkoj ratnoj mornarici.

Nije prošlo ni pet godina od prvih pokusa i Marconi se već usudjuje, da izvodi pokuse na 5000 kilometara daleko! Kod koje ćemo se daljine ustaviti? Tko bi danas bio toliko preuzetan, da udari granicu? More je električnih valova najrazličnije veličine tek puklo pred našim duševnim okom, ono danas nosi tek slabašan čamac, a Bog zna, kakve će kolose galija nositi kasnije na svojim talasima! Telegrafija bez žica danas je tek izašla iz prvih svojih nespretnih pokusa, koji tek tamo i amo nesvjesno pipaju, industrija ju je svjetska uzela u svoje snažne ruke i područje će se njezino naglo širiti, navlastito na oceanima: za kratko će vrijeme svaki veći brod u sebi kriti jednostavne aparate telegrafa bez žica.

Prema dosadanjim se rezultatima može od prilike i odsjeći, u kojem će smjeru razvijanje dalje poći, i tu upire ovaj čas čitav svijet oči svoje — opet čudan slučaj — u sina hrvatske zemlje, Nikolu Teslu, koji istražuje prirodu onkraj oceana. Radi se o tom, da se električne napetosti u vertikalnim žicama što više uvećaju.

Što danas Evropa u tom smjeru upotrebljava i izvodi, to gotovo iščezava spram rezultata Teslinih. Iskre, što ih on umjetnim načinom dobiva, pravi su orijaši spram evropskih iskara, „to je više", veli Slaby, „nego što naša najsmionija fantazija smije da sanja. Ako Tesla svoje teoretsko znanje i svoju eminentnu tehničku snagu prikloni praktičnoj službi telegrafije bez žica, mogli bismo doživjeti nov ogroman napredak, koji bi dostojno stajao o bok prvomu genijalnomu impulsu Marconijevu".

U neobično čudnim i prezanimljivim pojavama, koje se odigravaju u električnoj iskri, povjerila nam je priroda nešto, što i najozbiljnije ljude nauke potiče, da u fantaziji svojoj stvaraju slike za budućnost, pred kojima suvremeni svijet zapanjen stoji: „Doći će dan", veli Ayrton, jedan od najozbiljnijih naučnjaka, „kad ćemo mi svi biti već davno zaboravljeni, kad će se bakrene žice, omoti od gutaperke i željezne šipke tek u muzejima starina čuvati; onda će „sin Zemlje", koji hoće da razgovara s prijateljem, a ne zna, gdje je, viknuti električnim glasom, taj će glas čuti tek onaj, koji ima jednako udešeno električno uho. On će zvati: Gdje si? — i odgovor će mu zazvoniti u uhu: evo me u dubljini rudnika, na vrhuncu Anda, ili na dalekom oceanu. A možda ne će odgovoriti nikaki glas, i on će tada znati, prijatelj mu je mrtav". — — A što bi tek rekla mala zemlja hrvatska, da jedan sin njezin prinese jedan od glavnih kamena realizovanju toga ideala?

Zaista vječna je i uvijek mlada prirodna nauka: stoljeće tone za stoljećem u more vječnosti, ali niti jedno ne prodje, da ne bi fizika digla iz beskrajno bogatoga krila prirode po koje veliko blago koljenu čovjekovu. Na polju je ove nauke rvalište budućnosti. Blago narodima, u kojima se dovoljan broj talentiranih sinova njihovih za vremena naoruža nužnim znanjem prirodne nauke, kako bi se s drugim narodima plemenito mogli natjecati za lovor! Njihova je budućnost, pa bili danas i maleni.



SADRŽAJ.

Valovi i zrake.

Valovi svjetlosti.



POPIS SLIKA.

(Brojevi označuju strane.)

VI.

VII.

VIII.

IX.

X.

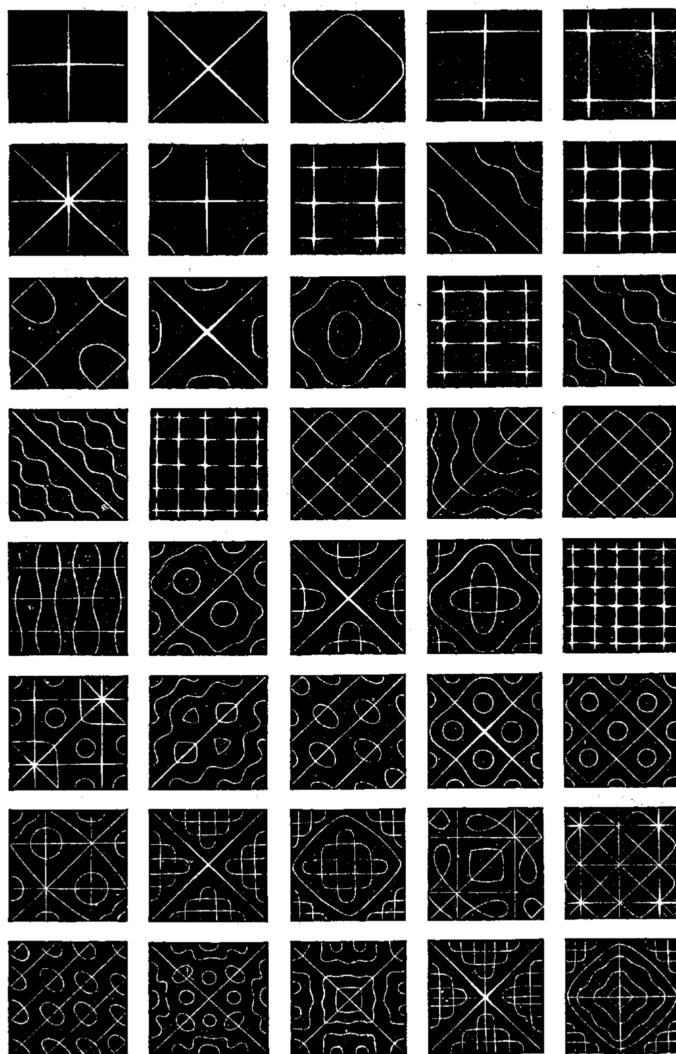
XI.

XII.

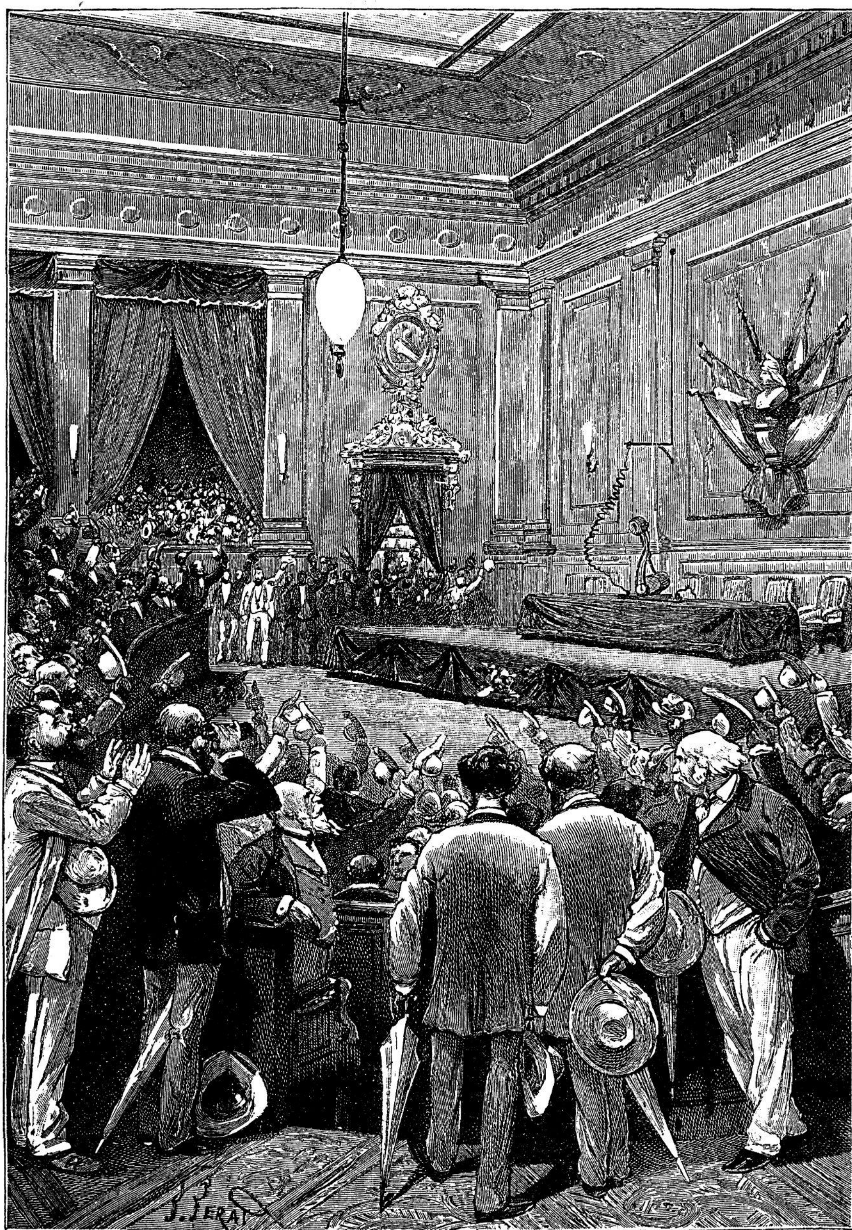




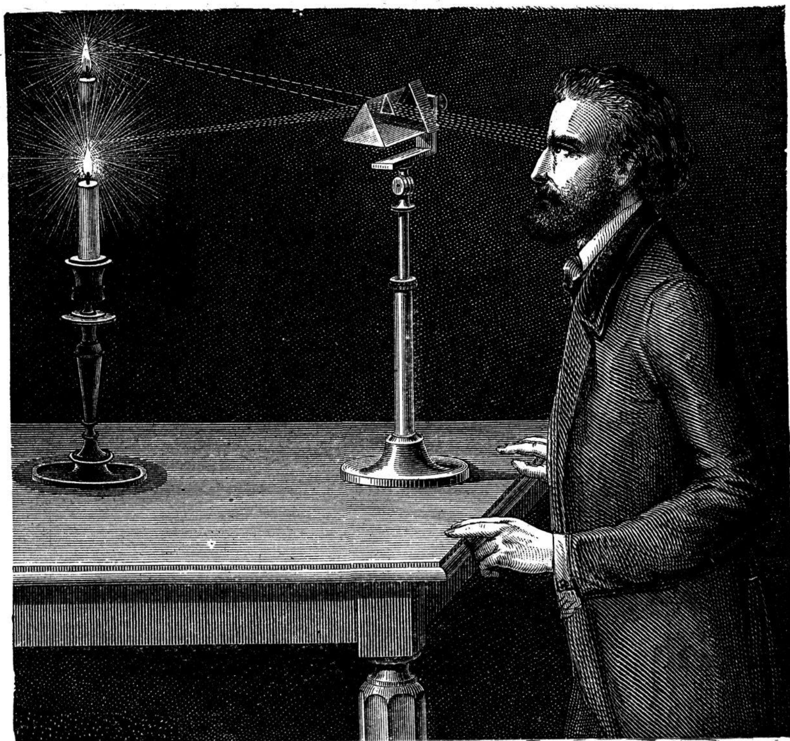
Ciklon na atlanskom oceanu.



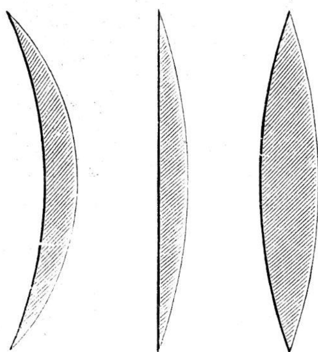
Sl. 57. Chladnijeve slike.



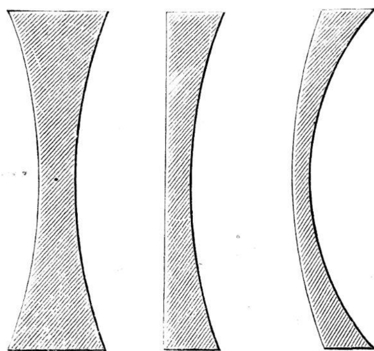
Sl. 74. Hrvati u Americi slušaju govor u zagrebačkom saboru.



Sl. 121. Slika svijeće kroz prizmu.



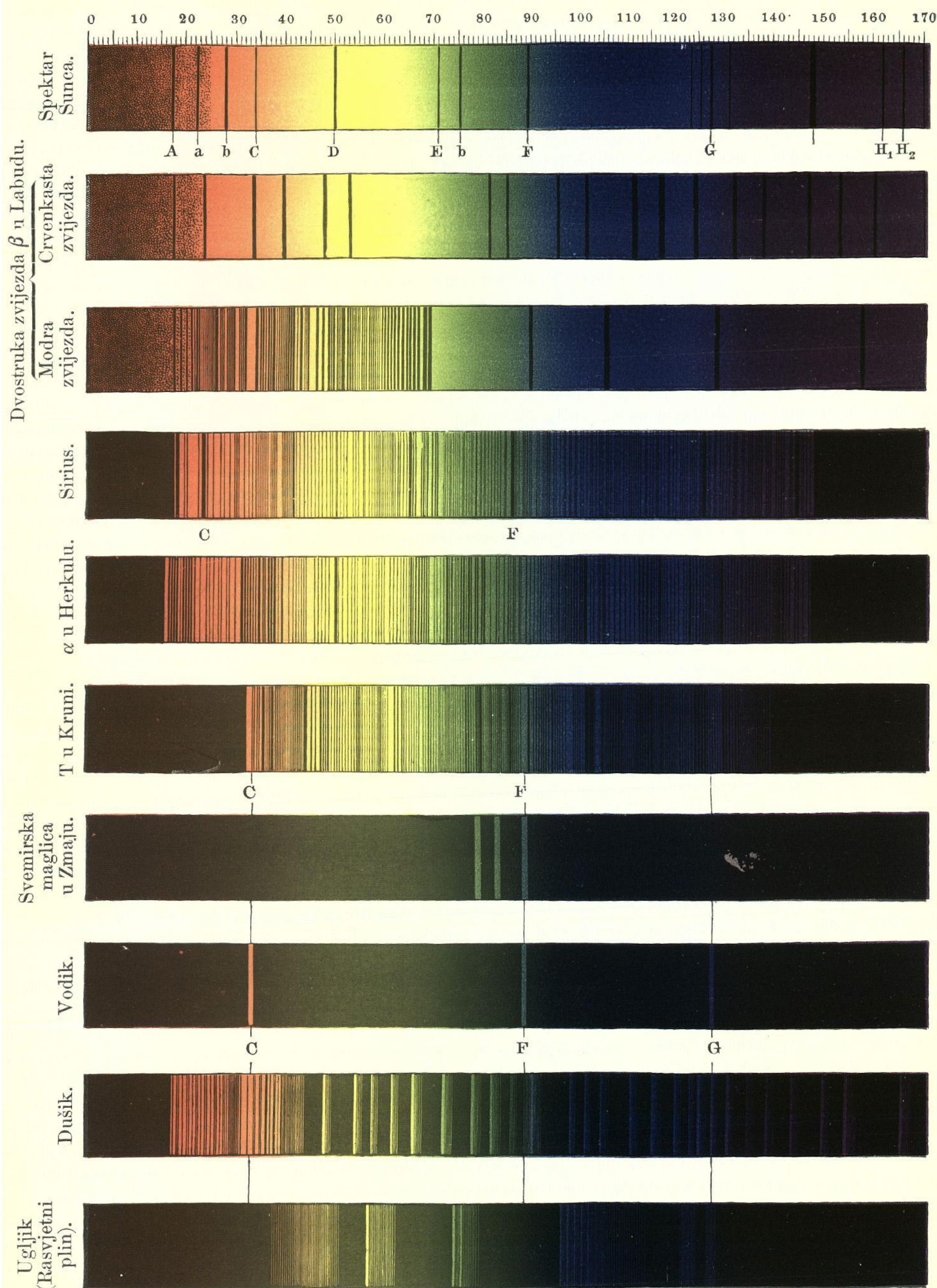
Sl. 122. Pupčaste leće
(leće sabirače).



Sl 123. Ugnute leće
(leće rastresače).

Spektri nekih elemenata i nebeskih tjelesa,

isporedjeni sa spektrom Sunca.



Kučera: Valovi i zrake. Izd. „Matica Hrvatska". 1903. Bibliographisches Institut in Leipzig.



BOGOMIL ŠOBAN, KNJIGOVEŽA U ZAGREBU